

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичне машинобудування»

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

_____ 2023 р.
«__» _____

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

на тему: Підвищення ефективності 4-тактного головного суднового дизельного двигуна потужністю 170 кВт за рахунок використання теплоакumuлюючої системи. Прототип 6ЧН15/18.

Виконав:

студент групи 61-ТЕМмаг-22

_____ ***Боровик Є.Ю.***

(підпис)

Керівник роботи:

доцент кафедри ЕМ, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступень, вчене звання)

_____ ***Нестеренко В.В.***

(підпис)

Первомайськ - 2023 р.

Анотація

У даному дипломному проекті розроблена теплоакumuлююча масляна система передпускового розігріву на базі двигуна 3Д6Н.

Вузловим питанням проекту є аналіз впливу теплоакumuлюючих систем у складі суднових енергетичних установок.

Дипломний проект складається з розрахунково-пояснювальної записки (4 розділи) та 8 креслень формату А1.

У „Конструкторському розділі” розраховані параметри робочого процесу, теплового балансу та динаміка двигуна.

Спеціальним питанням проекту є ”Математичне моделювання та визначення ефективності теплоакumuлюючої системи”.

Виконано розрахунок економічної ефективності теплоакumuлюючої системи.

Розглянуто питання охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Summary.

In this thesis project, a heat storage oil system for preheating based on the 3D6N engine has been developed.

The nodal issue of the project is to analyze the impact of heat storage systems as part of ship power plants.

The diploma project consists of a calculation and explanatory note (4 sections) and 8 drawings of A1 format.

In the "Design section" the parameters of the working process, heat balance and engine dynamics are calculated.

A special issue of the project is "Mathematical modeling and determination of the efficiency of the heat storage system."

The economic efficiency of the heat storage system is calculated.

The issues of labor protection and environmental protection are considered.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	
Аналіз теплоаккумуляторів і розвиток теплоакumuлюючих систем, які використовуються у складі суднових енергетичних установках	
1.1 Аналіз ефективності теплоакumuлюючих систем утилізації тепла СЕУ	6
1.2 Обґрунтування використання ТАС	10
1.3 Формування основних вимог до суднових теплоакumuлюючих систем	12
1.4 Розробка принципів схем теплоакumuлюючих систем і їх основних конструктивних елементів	14
1.5 Задачі дослідження	23
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	
2.1 Опис двигуна	24
2.2 Опис судна	27
2.3 Розрахунок робочого процесу двигуна 3Д6Н	36
2.4 Розрахунок теплового балансу газового двигуна	47
2.5 Розрахунок індикаторної діаграми	55
2.6 Динамічний розрахунок двигуна	61
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
Розрахунок основних параметрів ТАС	
3.1 Вихідні положення	66
3.2 Визначення теплових навантажень суднових споживачів, що використовують енергію систем акумуляції	68
3.3 Визначення ефективності теплоакumuлюючих систем у складі енергетичних установок малотоннажних суден	72
3.4 Оцінка впливу основних параметрів теплоакumuлюючих систем на їх ефективність	74

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив	Боровик Е.Ю.				Пояснювальна записка	Літера	Лист	Листів
Перевірів	Нестеренко В.В					н	з	92
Рецензент	Дубовець А.І.					61-ТЕМмаз-22		
Н. контр	Нестеренко В.В							
Затвердив	Нестеренко В.В							

3.5 Вибір параметрів теплоакумуючої системи	77
3.6 Опис конструкції теплоакумуючої системи	79
3.7 Розрахунок економічного ефекту	80

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Основні положення	82
-----------------------	----

ВИСНОВКИ	88
-----------------	----

ЛІТЕРАТУРА	92
-------------------	----

ДОДАТКИ:

- Додаток 1 План розташування ТАС на судні
- Додаток 2 Специфікація двигуна 6ЧН 15/18
- Додаток 3 Поперечний переріз двигуна 6ЧН 15/18
- Додаток 4 Поздовжній переріз двигуна 6ЧН 15/18
- Додаток 5 Схема сил, що діють в КШМ, індикаторна діаграма
- Додаток 6 Схема передпускової прокачки масла
- Додаток 7 Схеми включення ТА
- Додаток 8 Схеми ТАС1
- Додаток 9 Схеми ТАС2
- Додаток 10 Підігрівач масла кожухотрубний
- Додаток 11 Масляний насос

					<i>ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Одним з шляхів підвищення ефективності суднових енергетичних установок є використання в їх складі суднових теплоакумуючих комплексів, що є сукупністю елементів енергетичного устаткування судна і теплового акумулятора: енергетичних модулів на основі теплових акумуляторів, теплоакумуючих систем різного цільового призначення

Об'єктом досліджень є теплоакумуючі системи (ТАС), які можуть бути використані у складі суднових енергетичних установок судів і суднових комплексів різного цільового призначення (підводні човни і апарати, глибоководні водолазні комплекси, малотоннажні судна і ін.).

Загальними науковими проблемами таких систем є відсутність єдиної теорії їх проектування, моделей і методик визначення їх структурного складу, параметрів основних елементів.

Метою даного дипломного проекту є підвищення ефективності енергетичних установок, зокрема суднових, за рахунок використання в їх складі вискоефективних теплоакумуючих систем і пристроїв.

Предметом досліджень є: процеси, які протікають в суднових енергетичних установках і їх елементах, а також в теплоакумуючих системах з нестационарними параметрами накопичення і використання теплової енергії; існуючі методи і методики розрахунку теплоакумуючих систем суднових енергетичних установок.

Особливе місце займають дослідження фізичних процесів (їх параметрів), які мають місце в реальних умовах експлуатації суднових енергетичних установок і істотно впливають на умови проектування теплоакумуючих систем.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

АНАЛІЗ ТЕПЛОАКУМУЛЯТОРІВ І РОЗВИТОК ТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ СИСТЕМ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СКЛАДІ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ

1.1. Аналіз ефективності теплоакumuлюючих систем утилізації тепла СЭУ

У реальних суднових умовах існують значні теплові втрати від працюючого енергетичного устаткування, використання яких з метою підвищення ефективності СЭУ можливо шляхом застосування теплоакumuлюючих систем утилізації тепла (ТАС).

В даний час проведений комплекс науково-дослідних робіт, направлених на визначення ефективності застосування даних систем у складі енергетичних установок малотоннажних суден.

Принципові схеми систем акумуляції теплової енергії СЭУ малотоннажних суден, електроенергії перехідних процесів валогенераторів і дизель-генераторів (таблиця 1.1) розроблені з урахуванням існуючих вимог по технічній експлуатації суднового енергетичного устаткування (рисунок 1.1 - 1.8)

У відповідність з розробленою математичною моделлю як основний критерій ефективності систем виступала відносна маса ТАС, кг/кг_Т:

$$M_{\text{т}} = \frac{M_{\text{мас}}}{B}$$

де: $M_{\text{тас}}$ - маса теплоакumuлюючої системи, кг;

B - величина економії палива, кг.

Вибір параметрів теплоакumuлюючих систем енергетичних установок малотоннажних суден здійснювався на основі рішення задачі оптимізації, яка зводилася до визначення значень параметрів ТАС, що забезпечують їй мінімальну відносну масу.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Таблиця 1.1 Теплоакumuлюючі системи ЕУ МТС

№ ТАС	Основні види тепла, що акумулюється ТАС ЕУ МТС			
	Q_B	Q_M	Q_T	$Q_{ел}$
1	0	+	0	0
2	0	0	0	+
3	0	+	+	0
4	+	+	0	0
5	0	+	0	+
6	0	+	+	+
7	+	+	0	+
8	+	+	+	+

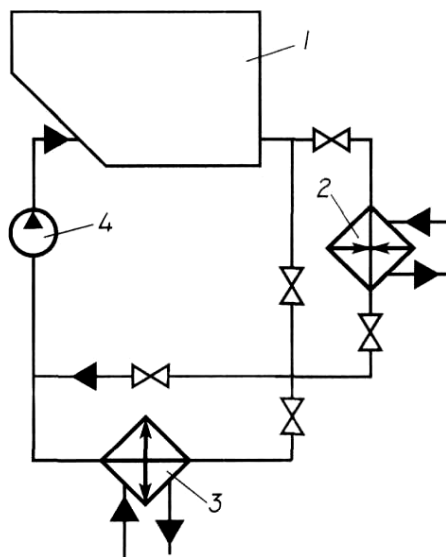


Рисунок 1.1 Принципова схема системи акумуляції

№ 1

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 - теплообмінник; 4 – насос

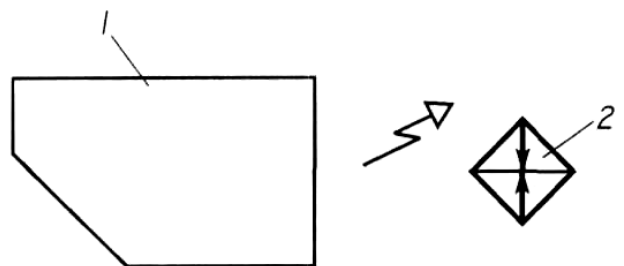


Рисунок 1.2 Принципова схема системи акумуляції № 2

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор

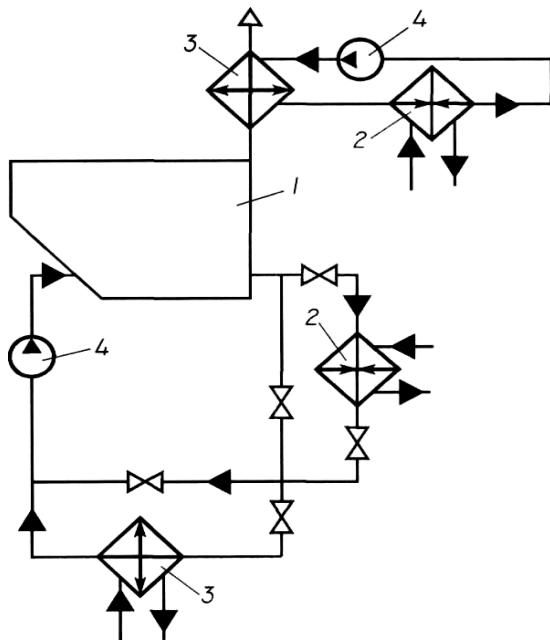


Рисунок 1.3 Принципова схема системи
акумуляції № 3

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 -
теплообмінник; 4 – насос

Рисунок 1.4 Принципова схема
системи акумуляції № 4

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 -
теплообмінник; 4 - насос

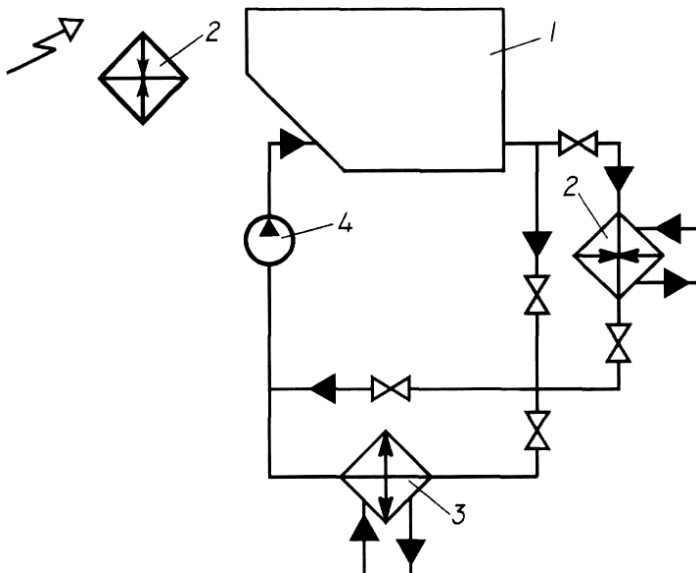
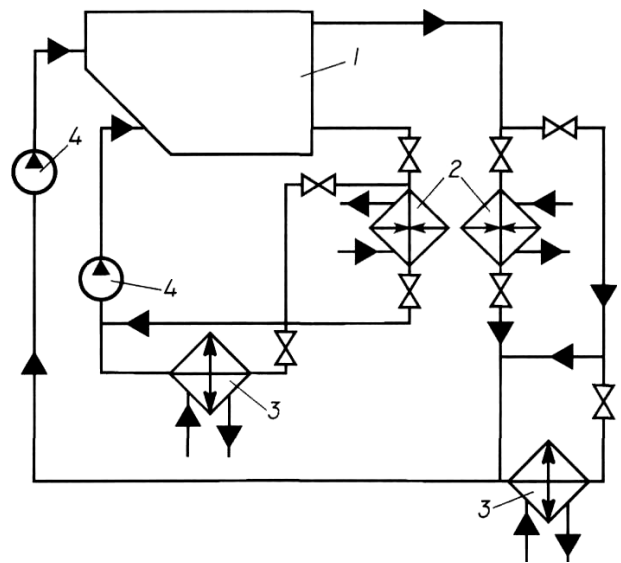


Рисунок 1.5 Принципова схема системи
акумуляції № 5

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 -
теплообмінник; 4 - насос

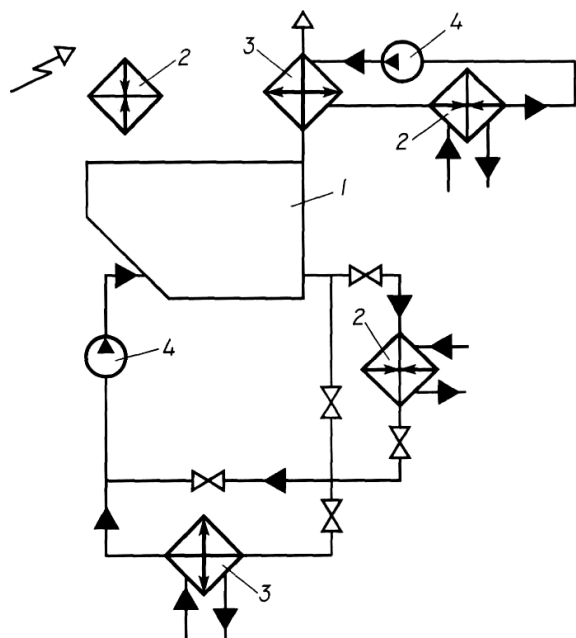


Рисунок 1.6 Принципова схема системи
акумуляції № 6

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 -
теплообмінник; 4 - насос

Рисунок 1.7 Принципова схема
системи акумуляції № 7

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 -
теплообмінник; 4 - насос

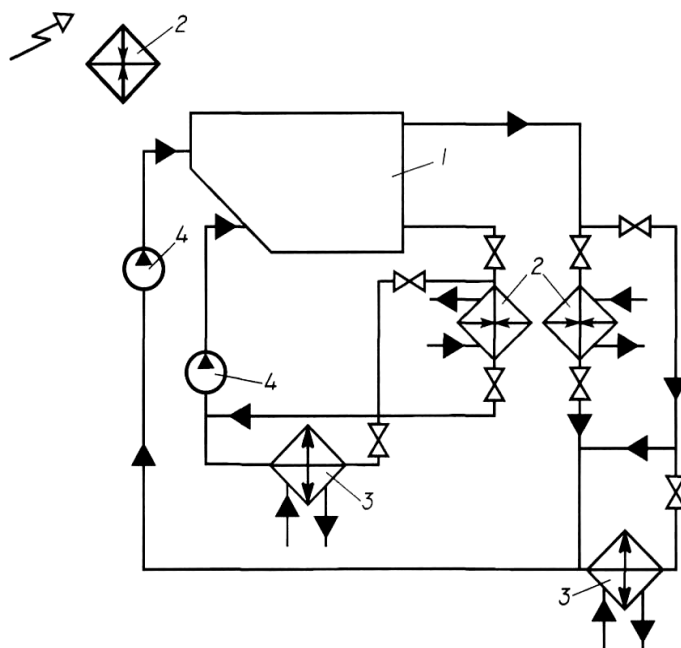
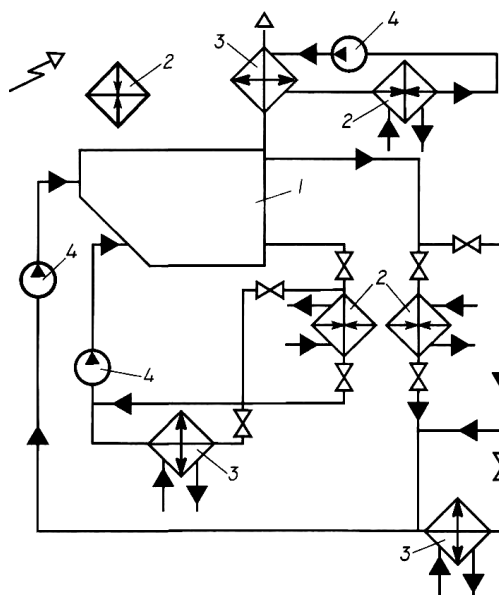


Рисунок 1.8 Принципова схема системи
акумуляції № 8

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 - теплообмінник; 4 -
насос



Параметри ТАС визначені стосовно СЕУ малотоннажних суден що використовують в своєму складі високо обертові двигуни внутрішнього згорання потужністю 10...500 кВт, з періодом, акумуляція, що забезпечує значення показника $N_{\text{ет}} = 10...100 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Показано, що використання основних типів ТАС, у складі енергетичних установок малотоннажних суден, дозволяє забезпечити зниження витрат палива на власні потреби СЕУ за один цикл акумуляції на 0,14...4 кг, а застосування комбінованих ТАС дозволяє підвищити в 4...10 разів ефективність використання теплоакumuлюючих систем (рисунок 1.1 - 1.8).

Виконані теоретичні дослідження показали, що збільшення не розрахункового періоду автономності основних видів теплоакumuлюючих систем з 4 до 24 годин не призводить до істотного зниження ефективності їх використання у складі СЕУ малотоннажних суден.

1.2 Обґрунтування використання ТАС

Основними результатами експериментальних досліджень слід вважати проведені дослідження теплоакumuлюючої системи у складі енергетичної установки малотоннажного судна, зокрема у складі системи, що забезпечує пуск головного двигуна типу 6 ЧН 18/22 номінальною потужністю 220 кВт, ми можемо бачити зміну температури та тиску масла в процесі прогрівання дизеля з включенням ТАС і без ТАС (рисунок 1.10, 1.11).

У загальному випадку, використання теплоакumuлюючої системи забезпечило зниження періоду передпускового прогрівання на 2...3 хвилини і дозволило забезпечити економію палива 1,25... 1,5 кг

Експериментально показано, що при проектуванні теплових акумуляторів, що мають в процесі експлуатації вільні об'єми, незаповнені теплоакumuлюючим матеріалом (більше 50%), необхідно враховувати їх розташування в машинно-котельному відділенні.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В проєкті включаємо ТА (тепло акумулятор) у склад масляної системи двигуна, малотоннажного судна проєкту № 1437 (Буксир)для передпускового прогріву двигуна.

Мета включення: зменшення витрати палива, підвищення екологічних показників, та швидкий вихід двигуна на номінальний режим роботи.

Принципова схема включення ТАС буде мати такий вигляд (рисунок 1.9).

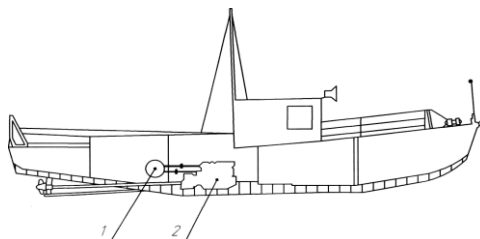


Рисунок 1.9 Принципова схема включення ТАС

1 - ДВЗ ; 2- тепловий акумулятор

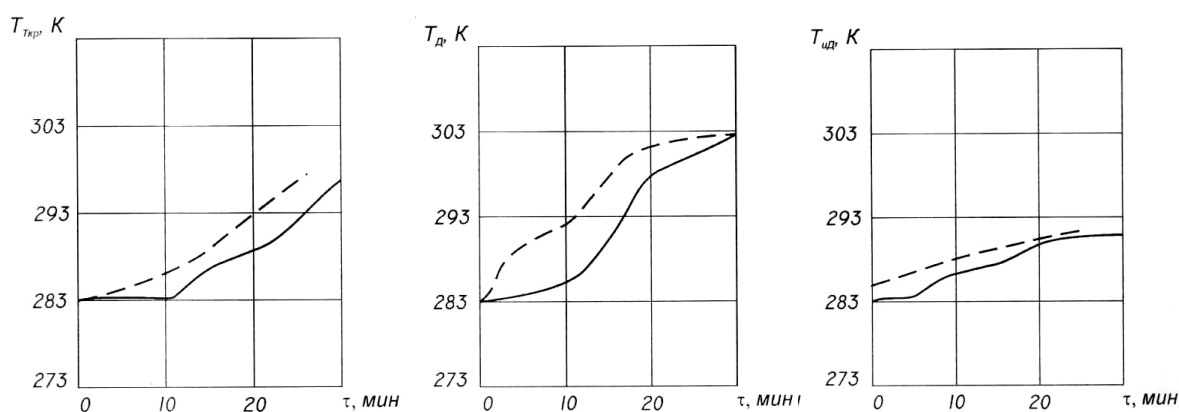


Рисунок 1.10 Зміна температури масла в процесі прогрівання дизеля
1,3 - без ТАС; 2 - з ТАС;

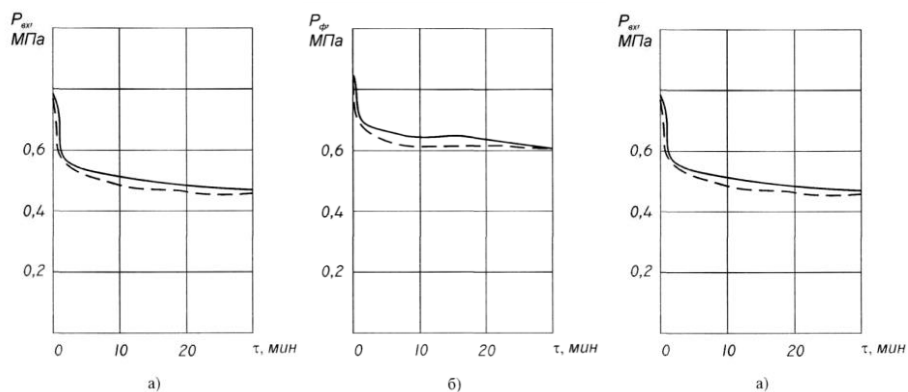


Рисунок 1.11 Зміна тиску масла

а) масло перед дизелем; б) масло до фільтру; в) масло в центрифугу

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Запропоновані принципові схеми теплоакумуючих систем у складі енергетичних установок малотоннажних суден проектів № 1437 (буксир) з двигуном 6ЧН 15/18 потужністю 170 КВт (рисунок 1.12).

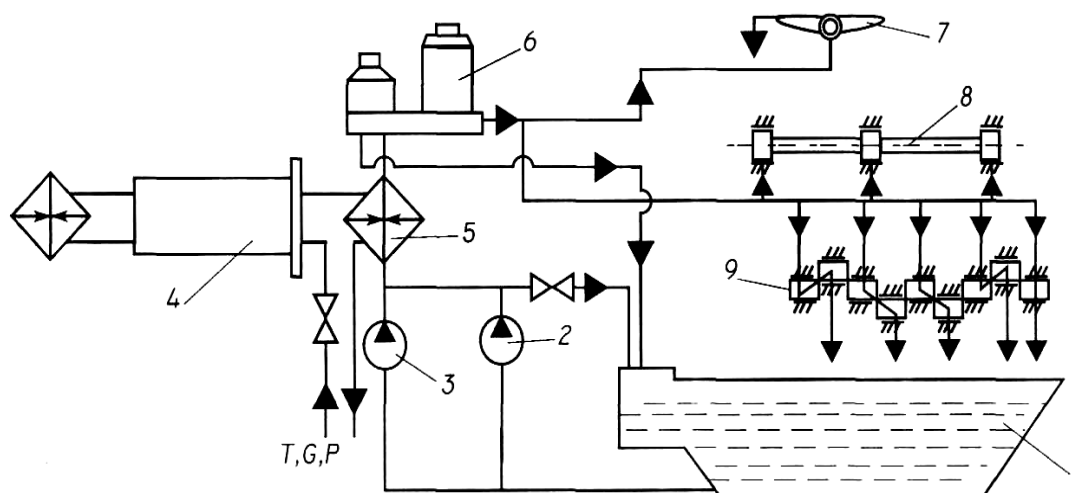


Рисунок 1.12 Принципова схема включення ТАС в склад дизеля 6ЧН 15/18
1 - піддон; 2 - масляний насос; 3 - насос; 4 - тепловий акумулятор; 5 - теплообмінник; 6 — центрифуга; 7 коромисло; 8 - кулачковий вал; 9 - колінчастий вал; Т- температури; G - витрата; Р – тиск.

1.3 Формування основних вимог до судових теплоа-кумуляуючих систем

Суднові теплоакумуючі комплекси є відносно новими технічними рішеннями, які пропонуються для використання на судах різного цільового призначення.

Проведений аналіз дозволив сформулювати основні вимоги, що пред'являються до судових теплоакумуючих комплексів на етапі їх проектування і дослідної експлуатації:

—суднові теплоакумуючі комплекси як складова частина судових енергетичних установок і судового енергетичного устаткування при своєму проектуванні, обладнання у експлуатації повинно відповідати відповідним Правилам Регістра;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- до початку побудови або виготовлення матеріалів для суднових теплоакумуючих комплексів в Регістр повинна бути представлена на розгляд і схвалення технічна документація, в об'єміщо забезпечує ухвалення відповідних рішень;
- при огляді судна об'єм огляду елементів суднових теплоакумуючих комплексів відповідає аналогічним вимогам і пристроям огляду;
- максимальна температура поверхонь трубопроводів суднових теплоакумуючих комплексів відповідає регламенту Регістра;
- при проектуванні суднових теплоакумуючих комплексів повинна бути виключена можливість їх мимовільного включення або виключення з роботи в будь-яких умовах експлуатації, а також від дії хитавиці, трясіння і вібрації;
- конструкція теплоакумуючих систем повинна допускати можливість їх періодичної перевірки при експлуатації судна;
- для теплових акумуляторів при максимальних значеннях температур теплоакумуючих матеріалів більше 60 °С повинні бути конструктивно забезпечені умови не перевищення температури поверхні корпусу ТА і відповідних трубопроводів > 50 °С;
- при проектуванні теплоакумуючих систем утилізації тепла слід враховувати, що:
 - а) охолодження декількох дизелів допускається одним насосом з незалежним приводом;
 - б) для дизель-генераторів, що знаходяться в постійній готовності, («гарячому резерві») при необхідності повинне передбачатися постійне прокачування їх гарячою водою;
 - в) пуск дизеля дозволяється проводити при температурі двигуна охолоджуючої води і масла не нижче 8 °С;
 - г) підігрів рідкого палива може здійснюватися тільки за допомогою парових або водяних змішувачів;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

д) системи подачі рідкого палива повинні обладнатися комплектом підігрівачів; теплоакumuлюючі системи повинні мати раціональними масогабаритними показниками і ін.

1.4 Розробка принципів схем теплоакumuлюючих систем і їх основних конструктивних елементів

Розробка принципів схем теплоакumuлюючих систем і конструкцій теплових акумуляторів проводилася на основі проведеного патентного пошуку. Для систем передпускового прогрівання суднових двигунів внутрішнього згорання результати патентного пошуку узагальнені на рисунках 1.13 - 1.18

У публікаціях зустрічається велика кількість подібних схем тих, що відрізняються один від одного нижченаведеним:

- застосуванням різних типів ТА;
- застосуванням різних ТАМ;
- наявністю в схемі додаткових споживачів теплової енергії (крім цілей прогрівання ДВЗ);
- різними алгоритмами і системами управління прогріванням ДВЗ і зарядкою ТА (RU2096654, RU2156701, JP20033138940, EP1172538);
- примусовою або термосифонною циркуляцією (RU 2200872) теплоносія в процес прогрівання або використанням теплових труб (SU1008481);
- джерелами енергії для зарядки ТА.

У якості ТА в цих схемах звичайно використовуються:

-ТА з ТАФП в основному кожухотрубної конструкції (RU2117881, RU2150020, RU2075626) або з капсульованим ТАМ (RU2187049, RU2052734, RU2121631, RU214046, DE4100193, DE4036392);

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ТА теплоємного типу з твердим ТАМ (SU1008481);
- ТА теплоємного типу з рідким ТАМ як яке звичайно використовується охолоджуюча рідина циркулююча в системі охолодження ДВЗ (RU2190121, RU2193737, RU2136952, RU2143649).

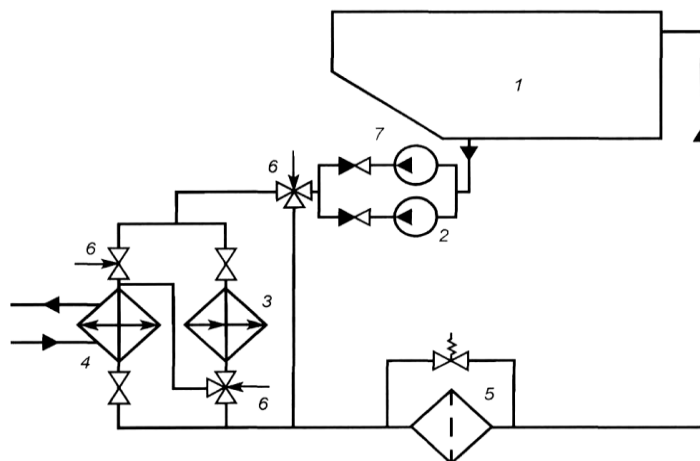


Рисунок 1.13 Схема передпускового прогрівання масла ДВЗ з мокрим картером і окремим ТА, заряджаючим теплом масла

1 - ДВЗ; 2 - циркуляційний масляний насос ДВЗ; 3 - тепловий акумулятор; 4 - охолоджувач масла; 5 - фільтруючий пристрій; 6 - клапани, що управляют зарядкою ТА і прогріванням ДВЗ; 7- циркуляційний масляний електронасос.

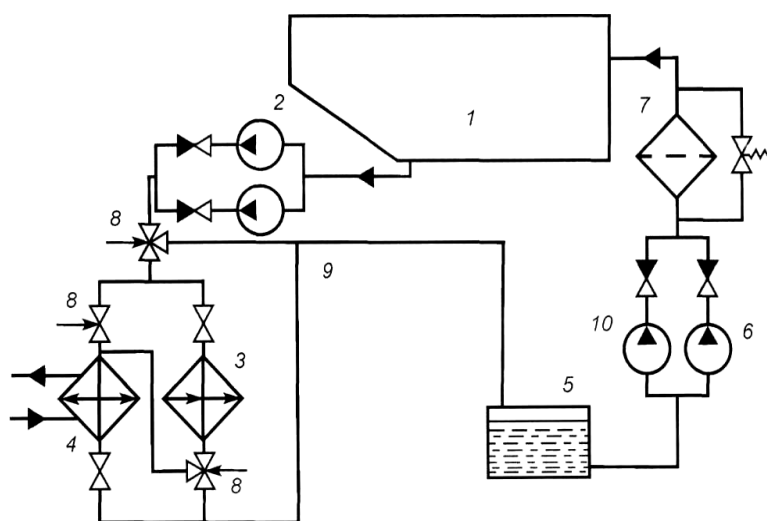


Рисунок 1.14 Схема передпускового прогрівання масла ДВЗ з сухим картером і окремим ТА, заряджаючим теплом від масла

1 - ДВЗ; 2 - відкачуючий масляний насос ДВЗ; 3 - ТА; 4 - охолоджувач масла; 5 - маслозбірник (циркуляційна масляна цистерна); 6 - нагнітаючий масляний насос ДВЗ; 7 - фільтруючий пристрій; 8 - клапани, які керують зарядкою ТА і прогріванням; 9 - відкачуючий масляний електронасос; 10 - нагнітаючий масляний електронасос.

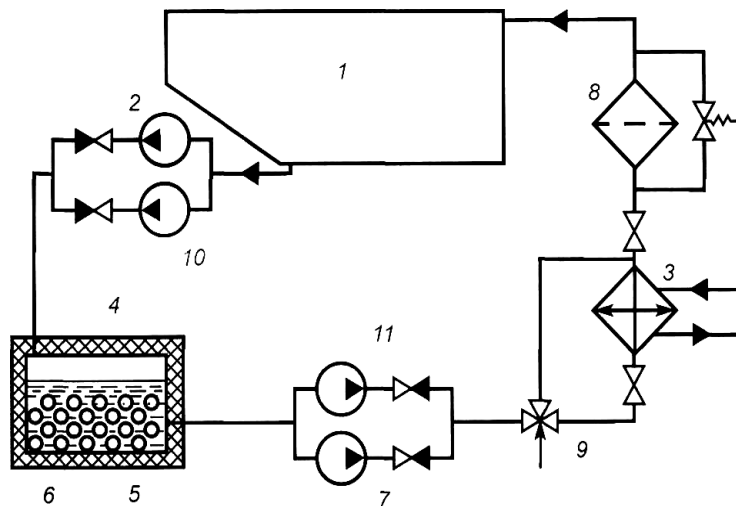


Рисунок 1.15 Схема передпускового прогрівання масла ДВЗ з сухим картером і використанням в якості ТА маслозбірника

1 - ДВЗ; 2 - масляний насос, що відкачує, ДВЗ; 3 - охолоджувач масла; 4 - масло збірник (циркуляційна масляна цистерна); 5 - теплова ізоляція масло збірника; 6 - капсульований ТАМ (може бути відсутнім); 7 - нагнітаючий масляний насос ДВЗ; 8 - фільтр; 9 - клапан, що управляє прогріванням ДВЗ; 10 - що відкачує масляний електронасос; 11- нагнітаючого масляного електронасоса.

Зарядка ТА у варіантах даної схеми здійснюється або від циркулюючої охолоджуючої рідини при прогрітому ДВЗ, або електричною енергією від генератора, який входить до складу ДВЗ, при роботі на режимах з малим навантаженням, або електричною енергією від внесудових джерел під час стоянки.

Зустрічаються також схеми, в яких в систему охолодження ДВЗ паралельно один одному вбудовуються два ТА один з ТАФП, а іншої теплоємнісного типу з охолоджуючою рідиною в якості ТАМ (EP0593928). Вважається, що в цьому випадку досягається краща динаміка прогрівання ДВЗ при прийнятних масогабаритних показниках.

Найбільш поширені схеми з охолоджуючою рідиною в якості ТАМ (RU2190121) і з капсульованим ТАФП. Для теплоємнісних ТА з рідким ТАМ як правило застосовується конструкція ТА витіснювального типу (RU2193737), а місткість ТА визначається з умови повного заміщення

охолоджуючої рідини, яка остигає в ДВЗ і ТА, або прогріванням ДВЗ до заданої температури за прийнятих умов навколишнього середовища. Якщо в першому випадку робота допоміжного насоса 7 триває до 2 хв., то в другому випадку потрібне триваліше прокачування теплоносія і в наслідку споживання електричної енергії більше.

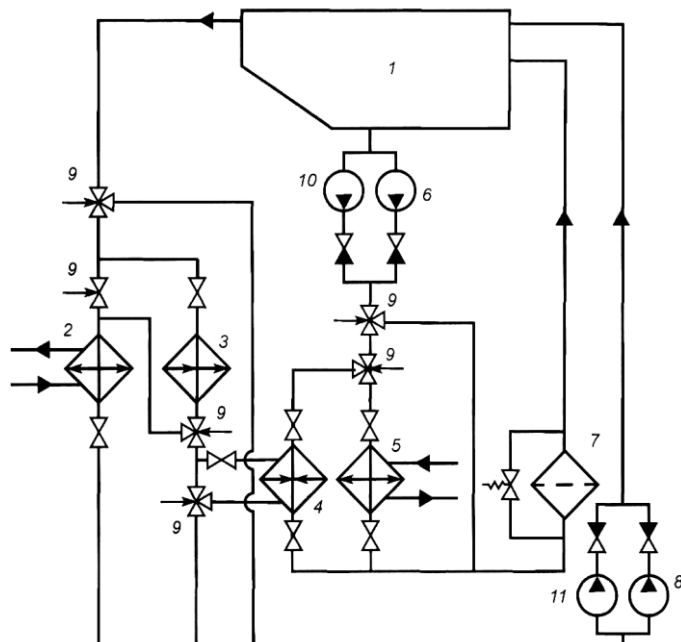


Рисунок 1.16 - Схема передпускового прогрівання ДВЗ з ТА для прогрівання прісної води і масла у водомасляному прогрівачі

1 - ДВЗ; 2 - водоводяний охолоджувач; 3 - ТА; 4 - підігрівач масла; 5 - охолоджувач масла; 6 - циркуляційний масляний насос ДВЗ; 7- фільтруючий масло пристрій; 8 - насос прісної води ДВЗ; 9 - клапани керівники зарядкою ТА і прогріванням ДВЗ; 10 - циркуляційний масляний електронасос; 11 - електронасос прісної води

На рисунку 1.17 і 1.18 представлені схеми, коли для передпускового прогрівання ДВЗ ТА вбудовується в масляну систему, а інші штатні системи ДВЗ (охолодження, наддуву, газопуску) залишаються незмінними (RU2151906). Дані схеми відрізняються між собою особливістю конструкції масляної системи ДВЗ. Так на рисунку 1.17 представлена схема для ДВЗ з мокрим картером, а на рисунку 1.18 - з сухим картером. У цих схемах як рідке

ТАМ звичайно використовується змащувальне масло циркулююче по ДВЗ і його теплота найчастіше використовується для зарядки ТА.

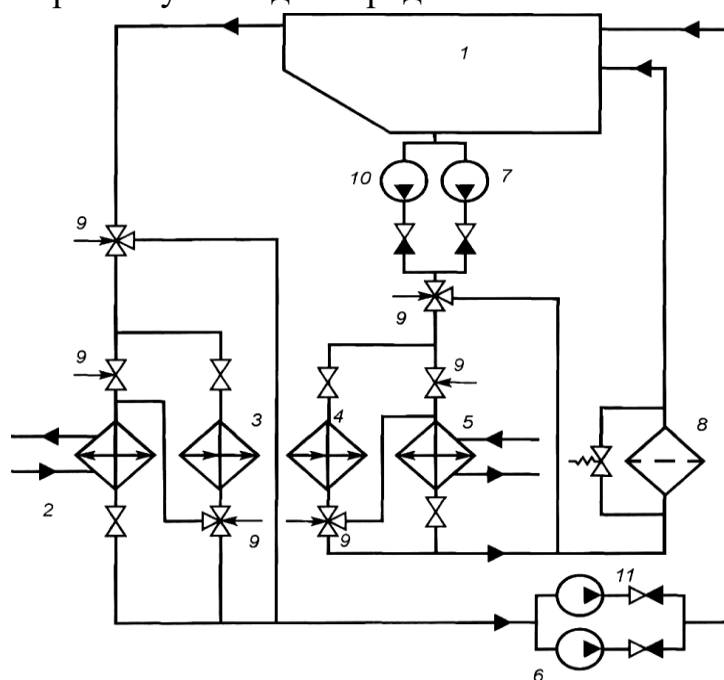


Рисунок 1.17 Схема передпускового прогрівання ДВЗ з ТА для нагріву масла

1 - ДВЗ; 2 - водоводяний охолоджувач; 3 - ТА для нагріву прісної води; 4 - ТА для нагріву масла; 5 - охолоджувач масла; 6 - насос прісної води ДВЗ; 7 - циркуляційний масляний насос ДВЗ; 8 - фільтруючий масло при-стрій; 9 - клапани, що управляють процесом зарядки ТА і прогріванням ДВЗ; 10 - циркуляційний масляний насос; 11 - електронасос прісної води.

На рисунку 1.19 приведена схема, що відрізняється від схеми на рисунку 1.18 тим, що роль теплового акумулятора виконує циркуляційна масляна цистерна. В цьому випадку її об'єм розраховується під необхідну енергоємність і вона покривається зовні тепловою ізоляцією. Всередині цистерна може мати капсульований ТАМ або, коли в якості ТАМ використовується циркулююче масло, внутрішня конструкція змінюється так, щоб не відбувалося інтенсивного перемішування теплого і холодного масла при циркуляції.

Одним з недоліків вище приведених схем, є те, що в процесі прогрівання ДВЗ інтенсивно нагрівається масло або охолоджуюча рідину, а також частини конструкції ДВЗ, де циркулюють дані рідини. Темп нагріву решти конструкцій ДВЗ і інших технологічних рідин залишається низьким.

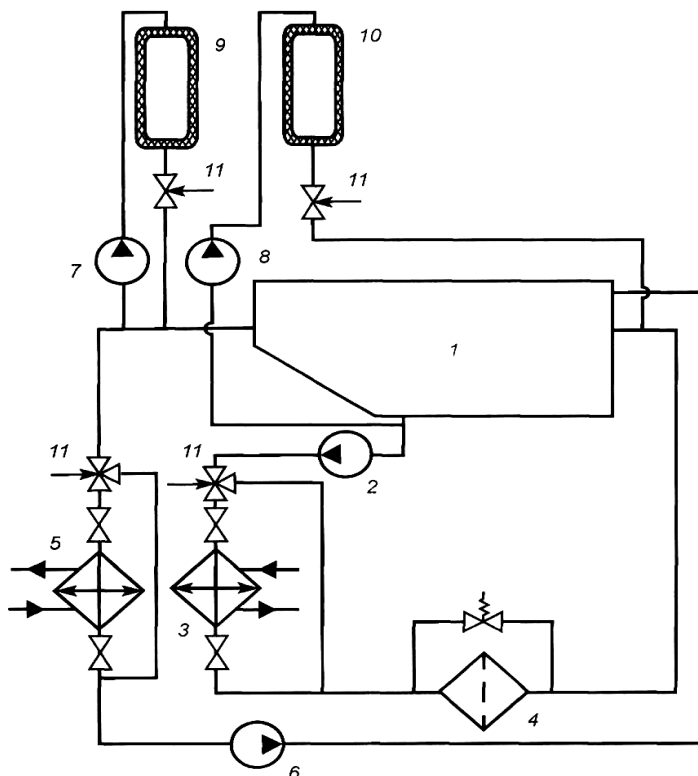


Рисунок 1.18 Схема передпускового прогрівання ДВЗ з ТА для зберігання гарячого масла і води після зупинки двигуна

1 - ДВЗ; 2 - циркуляційний масляний насос; 3 - охолоджувач масла; 4 - фільтруючий масло пристрій; 5 - водоводяний охолоджувач; 6 - насос прісної води; 7 - насос для відкачування гарячої води з двигуна; 8 - насос для відкачування гарячого масла з двигуна; 9 - ТА для зберігання гарячої води; 10 - ТА для зберігання гарячого масла; 11 - клапани, що керують прогріванням ДВЗ.

Для усунення даного недоліку застосовують два ТА, один з яких вбудовується в масляну систему, а інший в систему охолодження ДВЗ, або використовують додатковий теплообмінник, в якому охолоджуюча вода гріє масло, а ТА вбудовується тільки в систему охолодження ДВЗ (Рисунок 1.20).

Додатковий теплообмінник для нагріву масла в схемі на рисунку 1.20 може розташовуватися в картері ДВЗ, у циркуляційній масляній цистерні або бути окремим елементом.

Недоліком всіх вище приведених схем є те, що, при використанні для зарядки ТА теплової енергії, що переноситься маслом або охолоджуючою рідиною, максимальна температура для нагріву ТАМ залежно від типу ДВЗ не

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

перевищує 70... 105 °С. Це є перешкодою для застосування ряду більш енергоємних ТАМ, а використання для зарядки ТА електричної енергії є менш економічно.

Вищі температури для нагріву ТАМ мають системи передпускового прогрівання в яких ТА заражається теплом випускних газів, що відходять, або теплом наддувочного повітря. В цьому випадку в ТА нагрівається маслом або охолоджуючою рідиною. Деякі з них містять додатковий теплообмінник у якому одна технологічна рідина, нагріта у ТА, гріє іншу.

У ряді публікацій для передачі теплової енергії від ТА до технологічних рідин використовується проміжний теплоносій (SU1002654). Це дозволяє вирішити проблему температурної сумісності для ряду матеріалів, але вимагає додаткових теплообмінників і нагнітаючих агрегатів для циркуляції проміжного теплоносія. Проблема з додатковими теплообмінниками обходять, використовуючи як проміжний теплоносій повітря, яке вентилятором подається в ТА, нагрівається, а потім поступає в простір, картера двигуна, де підігріває масло, корінні, шатунні підшипники, конструкції ДВЗ що оточують простір, картера (RU2170851, RU2153098).

Окремо можна виділити заходи і системи, направлені на тривале збереження тепла, накопиченого в конструкції ДВЗ і його технологічних рідинах. Так на рисунку 1.23 представлена схема чотиришарового утеплення двигуна (RU2148182). Іноді утеплення або внутрішній кожух має з боку двигуна порожнини, заповнені теплоакумуючим матеріалом, що дозволяє збільшити кількість запасеної теплової енергії (SU1386037). За відсутності утеплення безпосередньо ДВЗ можливо збереження тепла, накопиченого в його технологічних рідинах шляхом їх перекачування з систем ДВЗ, після його зупинки, в теплоізовані ємності. Перед пуском ДВЗ відбувається зворотне заповнення систем. Іноді для отримання більшого ефекту рекомендують збільшувати об'єм технологічних рідин циркулюючих в системі або додатково використовувати ТА

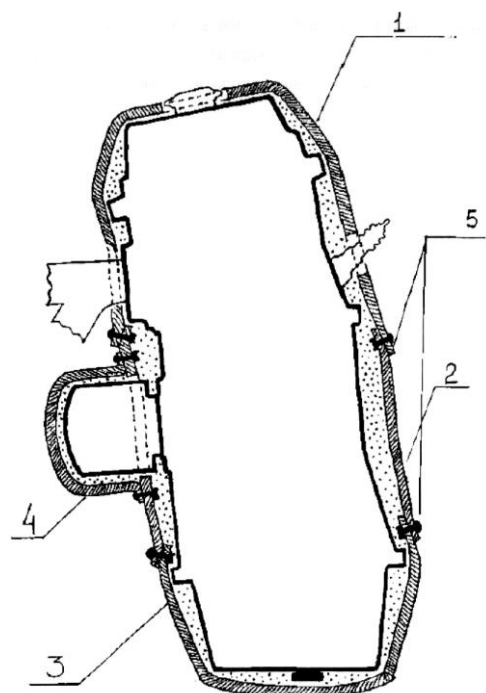
					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(RU2075626). Однією з переваг даної схеми є те, що при використанні води як охолоджуючої рідини можливо охолодження ДВЗ нижче за температуру її замерзання.

При пуску ДВЗ електростартером, бажаний також прогрів акумуляторних батарей електростартерів, енергоємність яких істотно залежить від температури електроліту. При зниженні температури енергоємність зменшується, що пов'язано із зменшенням рухливості і швидкості взаємодії іонів в електроліті, зростанням внутрішнього електричного опору.

Рисунок 1.19 - Утеплення двигуна з теплоакumuлюючими вставками

1 - головка блоку; 2 - блок двигуна; 3 - піддон картера;
4 - масляний фільтр; 5 - застібки



У ряді схем акумуляторну батарею розміщують в тепло ізольований кожух, усередині якого розташований змійовик для її нагріву. Нагріваючим середовищем є одна з технологічних рідин яка, проходячи ТА вбудований в її систему нагрівається, поступає в змійовик тепло ізольованого кожуха, де віддає частину тепла акумуляторній батареї, а потім прямує в двигун.

Аналіз розроблених принципових схем теплоакumuлюючих систем передпускового прогрівання судових ДВЗ дозволив сформулювати основні критерії вибору теплоакumuлюючих матеріалів фазового переходу.

Теплоакumuлюючий матеріал з фазовим переходом, який використовується в системах передпускового підігріву судових ДВЗ, повинен володіти наступними властивостями:

1. Теплофізичні властивості

1.1. Температура плавлення ТАМ повинна бути вище необхідної температури прогрівання ДВЗ і його технологічних рідин, при цьому нижче за температуру середовища, використовуваного для зарядки теплового акумулятора (ТА).

1.2. Питома об'ємна теплота плавлення ТАМ повинна бути як можна більшою, щоб для умов обмежених просторів судна одержати невеликі габарити ТА.

1.3. Питома теплоємність ТАМ повинна бути високою, причому бажано як в рідкій, так і в твердій фазі.

1.4. Теплопровідність ТАМ повинна бути високою і в рідкій і в твердій фазі.

1.5. Зміна об'єму ТАМ при плавленні повинна бути незначною.

1.6. Тиск пари над поверхнею ТАМ в робочому діапазоні температур повинно бути мінімальним.

2. Термодинамічні властивості.

2.1. Вірогідність зародкоутворення у ТАМ повинна бути високою, щоб не відбувалося переохолодження рідкої фази.

2.2. Швидкість росту кристалів у ТАМ повинна бути високою, щоб система могла задовольняти потребу енергетичної установки в тепловій потужності.

3. Хімічні властивості.

3.1. ТАМ повинен бути хімічно стабільним при максимально можливій температурі нагрівачого середовища.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Цикл плавлення-твердіння у ТАМ повинен бути повністю оборотним.

3.3. Зміна теплофізичних і термодинамічних властивостей після великого числа циклів плавлення - твердіння у ТАМ повинно бути незначним.

3.4. ТАМ повинен бути не токсичним, не вогнебезпечним і не вибухонебезпечним.

3.5. ТАМ повинен бути не корозійно активним по відношенню до недорогих конструкційних матеріалів.

4. Інші властивості.

4.1. Матеріал повинен бути доступним і мати низьку вартість.

1.5 Задачі дослідження

Рішення питання про ефективність теплоакumuлюючих систем у складі енергетичних установок малотоннажних суден вимагає:

- розробки математичної моделі визначення ефективності теплоакumuлюючої системи у складі енергетичної установки малотоннажного суден, що забезпечують акумуляція і подальше використання основних видів теплових втрат;
- визначення параметрів теплових акумуляторів і теплового стану основних елементів суднової енергетичної установки в реальних умовах експлуатації;
- розробки програм визначення параметрів теплоакumuлюючих систем;
- розроблення конструкції теплового акумулятора;
- дослідження рекомендацій по вибору параметрів теплоакumuлюючої системи у складі енергетичної установки малотоннажного судна.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

2.1 Опис двигуна

З метою підвищення ефективності енергетичної установки малотоннажного судна шляхом акумулювання тепла було розроблена теплоакумуюча система передпускового прогріву двигуна ЗДБН, який встановлений на буксирному катері (Рисунок 2.1-2.3) що має такі характеристики:

Основні характеристики судна

Довжина габаритна, м	14,58
Довжина по ГВЛ, м	13,30
Ширина габаритна (з привальним брусом), м	4,21
Ширина по ГВЛ, м	3,96
Висота борту, м	2,00
Осідання середнє порожнє, м	1,31
Осідання по вантажну марку, м	1,42
Водотоннажність порожня, т	31,8
Водотоннажність (при 100% запасів і І т вантажу), т	36,3
Дедвейт, т	4,5
Регістрова місткість:	
валова	24,45
чиста	9,85
Швидкість вільного ходу, уз.	9,6
Тяга на гаку при буксируванні зі швидкістю 5 уз., т	2,3
Тяга на гаку на швартовах, т	3,2
Пасажиромісткість, чол.	12
Екіпаж (змінна вахта), чол.	2

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Допоміжні механізми і системи. Котел опалювальний, водогрійний, з поверхнею нагріву $1,31 \text{ м}^2$, на вугільному паливі, теплопродуктивністю 1000 Ккал/г при робочому тиску води 2 кг/см^2 .

Водовідливні засоби: насос, навішаний на головний двигун, продуктивністю $5 \text{ м}^3/\text{г}$ і насос ручний, продуктивністю 35 л/хв .

Протипожежні засоби: рідинне (хімічне) гасіння СЖ-Б і переносні вогнегасники.

Електростанція: один генератор постійного струму типу Г-732А, потужністю $1,2 \text{ кВт}$, $24\text{-}28 \text{ В}$, навішаний на головний двигун.

Чотири акумуляторні батареї типу 6ТСТ -132ЭМС

Засоби радіозв'язку: УКВ радіостанція типу "Сейнер".

Навігаційне устаткування: магнітний компас типу КМ-100.

2.2 Опис двигуна 6ЧН 15/18

Тип двигуна: чотиритактний, вертикальний, шестициліндровий, має блокову на всі шість циліндрів кришку, відокремлений блок циліндрів, що кріпиться анкерними болтами до верхнього картера, в якому на підвісках розміщений колінчастий вал. Нижній картер є масло збірником. Двигун має відкриту камеру згорання і по чотири клапани на кожен циліндр з безпосереднім приводом їх від двох розподільних валів, розміщених в кришці циліндрів (Рисунок 2.4). Остов двигуна: складається з картера, блоку циліндрів і кришки блоку. Блок циліндрів і кришка блоку кріпляться до верхньої частини картера анкерними болтами. Кришка блоку кріпиться до блоку шпильками.

Картер складається з двох частин: верхньої і нижньої половинок, що відлитих з чавуну і сполучаються за допомогою шпильок. Для деяких моделей картер виготовляється з алюмінієвого сплаву. Площина роз'єму картера співпадає з віссю колінчастого валу. У семи поперечних перегородках верхньої частини

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

картера розташовані корінні підшипники, сталеві вкладиші яких залиті свинцевою бронзою. Кришки корінних підшипників входять в пази картера і кріпляться кожна двома шпильками.

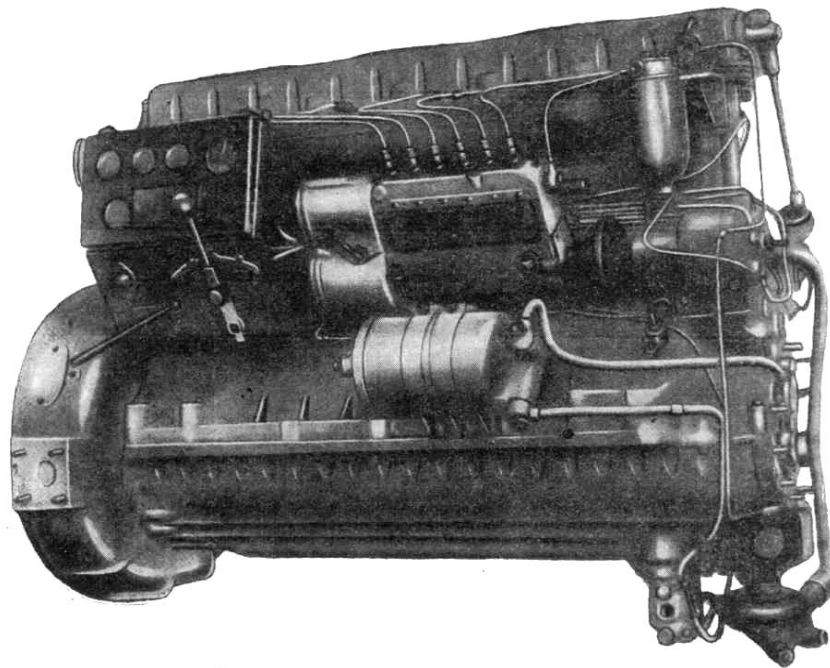


Рисунок 2.4 Дизель ЗД6Н

Картер складається з двох частин: верхньої і нижньої половинок, що відлитих з чавуну і сполучаються за допомогою шпильок. Для деяких моделей картер виготовляється з алюмінієвого сплаву. Площина роз'єму картера співпадає з віссю колінчастого валу. У семи поперечних перегородках верхньої частини картера розташовані корінні підшипники, сталеві вкладиші яких залиті свинцевою бронзою. Кришки корінних підшипників входять в пази картера і кріпляться кожна двома шпильками. Нижня частина картера закриває порожнину верхньої частини картера і утворює масло збірник. У середині картера по дну проходить трубопровід відкачування масла з відстійника. До нижньої частини картера кріпляться водяний і масляний насоси, а збоку паливний насос. Відокремлений кожух маховика кріпиться на шпильках до обох частин картера.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок циліндрів чавунний або алюмінієвий. У блоці розміщені втулки циліндрів і є крізні колодязі для проходу анкерних болтів. На бічній поверхні блоку є фланець, до якого кріпиться водяний трубопровід. На верхній площині блоку передбачені отвори для проходу води в порожнину кришки.

Втулка циліндра або чавунна, або сталева. Водяне ущільнення втулки у верхній частині досягається приляганням її бурту, внизу двома гумовими кільцями.

Кришка блоку лита, алюмінієва, на всі шість циліндрів. Ущільнення між блоком і кришкою здійснюється алюмінієвою прокладкою. У кришці розміщені форсунки, два впускних і два випускні клапани на кожен циліндр. Сідла клапанів вставні, сталеві. У нижній площині кришки циліндрів є шість циліндрових виточок, утворюючі камери згорання. І випускних порожнини впускних клапанів виходять в різні боки. На верхній площині кришки встановлені сім роз'ємних підшипників розподільних валів. Кожен підшипник має по два паралельні розточування для розподільних валів впускання і випуску. Сама кришка блоку зверху закривається чавунним кожухом. По бічних сторонах кришки блоку кріпляться колектори впускання і випускного. У кришці блоку є крізні отвори для анкерних болтів.

Кривошипно-шатунний механізм: Колінчастий вал, кований з легованої сталі має порожнисті шийки. Порожнини корінних і шатунних шийок повідомляються через отвори в щоках валу. Масло поступає в порожнину хвостовика колінчастого валу. З порожнини хвостовика масло по двох каналах в першій щоці валу проходить в порожнину першої шатунної шийки. По третьому похилому каналу в першій щоці масло з першої шатунної шийки підводиться до першої корінної шийки. Всі інші щоки мають по два канали, паралельні їх площині. На хвостовик валу насаджена конічна шестерня приводу допоміжних агрегатів і механізму газорозподілу двигуна. На сьомій корінній шийці є фланець кріплення маховика.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Шатун, штампований з легованої сталі, стрижень шатуна двотаврового перетину. У отвір верхньої головки шатуна запресована бронзова втулка. Нижня головка має косий роз'єм. Кришка нижньої головки кріпиться до шатуна за допомогою шести шпильок. У нижній головці встановлені тонкостінні сталеві вкладиші, залиті свинцевою бронзою.

Поршень штампований з алюмінієвого сплаву. Поглиблення в днищі поршня утворює камеру згорання. На поршні встановлено п'ять поршневих кілець. Два верхні кільця прямокутного перетину компресійні, три нижніх конусні, є одночасно компресійними і маслосніжним. Всі кільця чавунні, два верхні кільця хромовані. Поршневий палець плаваючого типу сталевий, цементований, порожнистий.

Газорозподіл двигун має два розподільні вали для і випускних клапанів впускать, виготовлених з вуглецевої сталі і розташованих на кришці блоку. Кожен вал має сім опорних шийок і дванадцять кулачків, виготовлених суцільно з ним. Профіль кулачків однаковий. Кулачок розподільних валів приводяться в дію за допомогою пари конічних шестерень від вертикального валу, який пов'язаний з колінчастим валом за допомогою похилого валу приводу паливного насоса і двох пар конічних шестерень. Випускний розподільний вал має привід від впускання за допомогою пари циліндрових шестерень.

Система подачі палива: Паливна система двигуна складається з підкачуючого насоса, фільтрів, паливного насоса високого тиску з регулятором, форсунок і трубопроводів.

Підкачуючий насос ротативного типу подає паливо під тиском 0,5-1,0 кг/см².

Фільтр у паливній системі двигуна здвоєний, на форсунці застосовується щілистий фільтр.

Паливний насос високого тиску шести плунжерний, блочного типу. Регулювання кількості подачі палива, здійснюється зміною кінця подачі за

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою повороту плунжера, що має на циліндровій поверхні спіральну відсічну кромку.

Привід паливного насоса здійснюється від колінчастого валу за допомогою похилого валу і двох пар конічних шестерень.

Форсунка закритого типу, з гідравлічним управлінням. Тиск відкриття голки 210 кг/см^2 . Сопло розпилювача має сім отворів, кожне діаметром 0,25 мм. Кут розпилювання 140° .

На двигуні встановлюється регулятор прямої дії з відцентровим вимірником швидкості. Вантажі відцентрового чутливого елемента виконані у вигляді куль. Випускаються дві модифікації регулятора: одно режимний для дизель-генераторних установок і все режимний для судових головних двигунів. Одно режимний варіант забезпечений пристроєм для зміни ступеня нерівномірності. Регулятор встановлений на паливному насосі.

Система мащення: у систему мащення двигуна входить: 1) масляний насос шестерного типу, що складається з трьох секцій; встановлений на нижньому картері і приводиться в дію циліндровими шестернями від нижнього вертикального валу, пов'язаного з колінчастим валом парою конічних шестерень; 2) холодильник масла, що не поставляється з двигуном; 3) фільтр грубого очищення щілистого типу і фільтр тонкого очищення з картонним фільтруючим елементом в одному корпусі; 4) ручний маслопрокачуючий насос.

Насос засмоктує масло з бака і нагнітає його у фільтр грубого очищення. Все масло проходить через секцію щілистого очищення, що складається із сталевих зварних стаканів з подовжніми гофрами, на які намотана гофрована латунна стрічка. Частина масла (10-15%) проходить через картонний пакет тонкого очищення, розташований усередині щілистого фільтру. Основна частина масла, пройшовши секцію щілистого очищення, потрапляє до кришки центрального підведення масла, встановленої на хвостовику колінчастого валу. Відпрацьоване масло зливається в картер, звідки відсисається і нагнітається

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насосом через холодильник в бак. Для прокачування масла через двигун перед пуском в систему включений насос, що прокачує. Тиск в системі 6 - 9 кг/см².

Система пуску: пуск двигуна здійснюється електростартером або стислим повітрям. Обидві системи пуску незалежні один від одного. Основним є пуск електростартером.

Система пуску електростартером включає: електричний стартер СТ-710 потужністю 15 л.с., чотири акумуляторні батареї 6СТЭ-128 або 6СТК-180 напругою 24 в і електричний генератор Г-731.

Система пуску стислим повітрям включає: балон стислого повітря, повітряний редуктор з манометром, які з дизелем не поставляються, розподільник повітря, шість пускових клапанів і повітропроводи.

Місткість балона не менше 10 л, максимальний тиск повітря в балоні - 150 кг/см², мінімальне допустиме - 30 кг/см².

Для полегшення пуску двигуна при температурі від 4-5 до -40° З, деякі двигуни забезпечуються підігрівачем форсунки. Підігрівач забезпечує прогрівання систем охолодження і паливоподачі.

Система управління двигуном: для управління і контролю за роботою двигуна на ньому встановлені щиток управління і щиток приладів. На щитку керування розміщені рукоятка управління подачею палива, пускова кнопка стартера і рукоятка ручного маслопідкачуючого насоса. На щитку приладів розташовані: дистанційний манометр тиску масла в головній магістралі дизеля, два дистанційні термометри води і масло, електротахометр і вольтметр.

Суднові головні дизелі ЗД6: Дизелі ЗД6 укомплектовані реверс-редуктором, насосом заборотної води, випускним колектором який охолоджується, а також пристроєм кріплення дизеля до фундаменту. Дизелі ЗД6 випускаються в декількох модифікаціях.

Дизель ЗД6 головний судновий, потужністю 110 кВт. на вихідному валу реверс-редуктора. Картер і корпус реверс-редуктора чавунні. Напрямок дивитися з боку реверс-редуктора, - праве, а для ЗД6Л - ліве.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дизель ЗД6С головний судновий, потужністю 150 кВт. на вихідному валу реверс-редуктора. Картер і корпус реверс-редуктора алюмінієві; по обох сторонах верхнього картера до спеціальних майданчиків кріпляться сталеві балки. Напрям обертання дизеля ЗД6С правий, для дизеля ЗД6СЛ - ліве.

Опис конструкції додаткових вузлів і деталей дизеля ЗД6:

Реверс-редуктор. Реверс-редуктор об'єднує одноступінчастий шестерний редуктор і реверсивний фрикційний механізм зчеплення.

Редуктор складається з провідних шестерень переднього і заднього ходу, валів переднього і заднього ходу, встановлених на ролико- і шарикопідшипниках, відомих шестерень і паразитної шестерні. Передавальне число для переднього ходу 1 : 3,07. (або 1 : 2,02), для заднього ходу 1 : 2,96. Механізм зчеплення складається з фрикційної муфти, що складається з барабана, двох фрикційних дисків переднього і заднього ходу, нажимного диска, проміжного фланця, кулачків, кронштейнів, роликів включення з пружинами і механізму включення. Реверс-редуктори дизелів ЗД6 і ЗД6С відрізняються тільки матеріалом корпусу.

Система охолодження. Система охолодження суднових дизелів ЗД6 замкнута, двухконтурная. Циркуляційний водяний насос прісної води відцентрового типу встановлений на одній осі з нижнім вертикальним валом і приводиться в рух від шестерні встановленої на останньому за допомогою кулачка. Система охолодження забортної води складається з насоса забортної води, теплообмінника, фільтру забортної води і трубопроводів.

Насос забортної води самовсмоктуючий, водокільцевий, забезпечуючи підсос води на висоту 1,5 м. Привід насоса здійснюється від колінчастого валу через шліцьової вал і пару конічних шестерень з передавальним числом 1 : 1,35. Теплообмінник трубчастого типу.

Система мащення. Шарикопідшипники і шестерні реверс-редуктора змажуть розбризкуванням. Мاستило передніх підшипників валів реверсивної муфти і підшипника механізму включення виробляється періодично.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

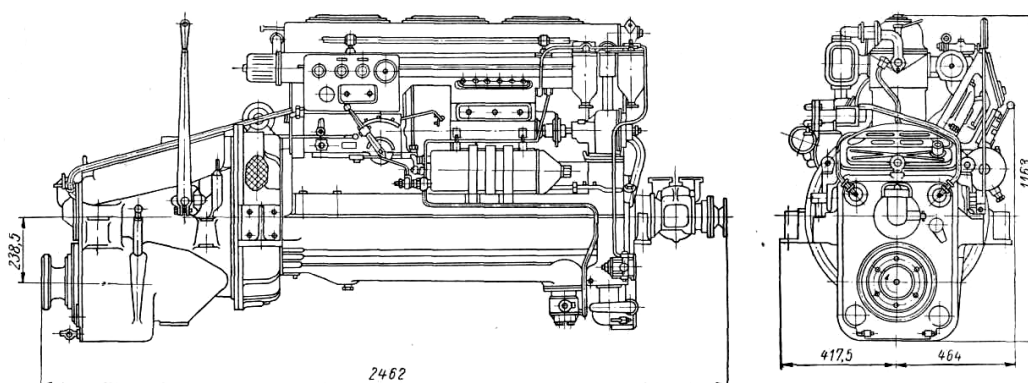


Рисунок 2.5 Габаритне креслення дизеля ЗД6Н

Дизелі Д6 з газотурбінним наддувом: дизелі 1Д6, 2Д6 і ЗД6 випускаються з газотурбінним наддувом, які відрізняються від дизелів без наддуву тільки турбокомпресором, паливним насосом і форсунками іншої конструкції.

Крім того, у зв'язку із збільшеною потужністю декілька змінена конструкція вентилятора дизеля 1Д6Н і 2Д6Н, фрикційної муфти дизеля 2Д6Н і реверс-редуктора дизеля ЗД6Н.

Турбокомпресор. Турбокомпресор складається з радіальної відцентрової газової турбіни і радіального відцентрового компресора, змонтованих на одному валу.

На номінальному режимі дизеля ротор турбокомпресора робить 24 000-26 000 об/хв. Продуктивність компресора рівна 0,335 кг/сек.

Колеса турбіни і компресора встановлені на загальному валу на шліцах. Вал встановлений на двох шарикопідшипниках. Мاستило підшипників здійснюється від масляної магістралі двигуна. Масло поступає в жиклер і прямує на підшипник турбіни. Мاستило підшипника компресора здійснюється розбризкуванням.

Паливний насос і форсунка. Паливні насоси дизелів Д6Н відрізняються від

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насосів дизелів Д6 діаметром плунжера рівним 12 мм замість 10 мм. Розпилювач форсунки дизелів з наддувом має 8 отворів діаметром 0,3 мм кожне, замість 7 отворів діаметром 0,25 мм на дизелях без наддуву.

Реверс-редуктор. До конструктивних відмінностей реверс-редукторів дизелів з наддувом відносяться: 1) вали переднього і заднього ходу і пов'язані з ними фрикційні диски помінялися місцями, 2) передавальні числа для переднього ходу можуть бути 1:1,33 або 1:2,04 або 1:2,95, для заднього ходу 1:2,18. Випускний колектор дизелів з наддувом охолоджується водою.

Кожух маховика. У зв'язку з установкою на кожусі маховика турбокомпресора конструкція його дещо змінилася в порівнянні з кожухом на дизелі без наддуву.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Тепловий розрахунок двигуна 3Д6Н

2.3.1 Вихідні дані:

Ефективна потужність	$N_e = 170$ кВт
Частота обертання колінчастого валу.	$n = 1500$ хв ⁻¹
Ступінь стиску	$\varepsilon = 14$
Число циліндрів	$i = 6$
Діаметр циліндра	$d = 0,150$ м
Хід поршня	$S = 0,180$ м
Коефіцієнт тактності	$z = 0,500$
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha = 2,200$
Тиск навколишнього середовища	$P_o = 0,101$ МПа
Температура навколишнього середовища	$T_o = 290$ К
Підігрів свіжого заряду	$\Delta T = 8$ К
Тиск залишкових газів	$P_r = 0,110$ МПа
Температура залишкових газів	$T_r = 800$ К
Ступінь підвищення тиску	$\lambda = 1,400$
Коефіцієнт використання теплоти в точці "Z"	$\xi_z = 0,850$
Коефіцієнт повноти індикаторної діаграми	$\xi = 0,950$
Показатель политропы сжатия	$n_1 = 1,370$
Коефіцієнт використання теплоти в точці "b"	$\xi_b = 0,9$
Температура в конце расширения	$T_b = 1100$ К
Часть потерянного хода	$\psi = 0,000$
Паливо:	
Дизелине паливо Л - 0.2 - 40 ГОСТ 305 - 82	
Середній елементарний склад палива	$C = 0,870$ $H = 0,126$ $O = 0,004$
Механічний ККД	$\eta_m = 0,770$
Коефіцієнт продувки	$f_a = 1,1$
Коефіцієнт падіння тиску при впуску повітря в циліндр	$K_a = 0,93$
Температура повітря в надувочному ресивері	$T_s = 330$ К
Очікуєма питова витрата палива	$g_e = 0,23$ кг/(кВт*ч)
Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива	$L_0 = 0,495$ кмоль/кг
Коефіцієнт наповнення циліндра	$\eta_n = 0,94$
Коефіцієнт залишкових газів	$\gamma_r = 0,03$
Коефіцієнт в рівняннях середньої ізохорної теплоємності чистого повітря і чистих продуктів згоряння, кДж/(кмоль*К)	$a' = 19,26$ кДж/(кмоль*К)

$$a'' = 20,47 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$b' = 0,003 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

$$b'' = 0,003 \text{ кДж/(кмоль} \cdot \text{K)}$$

2.3.2 Параметри процесу наповнення

Необхідний тиск у надувочному ресивері, МПа

$$p_s = 1,76 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g_e \cdot N_e \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot T_s}{d^2 \cdot S \cdot z \cdot n \cdot i \cdot \eta_n}, \quad (2.1)$$

$$p_s = 0,144 \quad \text{МПа}$$

Тиск в циліндрі на початку зтиснення, МПа

$$p_a = K_a \cdot p_s, \quad (2.2)$$

$$p_a = 0,134 \quad \text{МПа}$$

Температура в циліндрі на початку зтиснення, К

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T_a + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}, \quad (2.3)$$

$$T_a = 351,456 \quad \text{К}$$

Температура в кінці впуску.

$$\eta_n = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_s} \cdot \frac{T_s}{T_a \cdot (1 + \gamma_r)} \cdot (1 - \psi), \quad (2.4)$$

$$\eta_n = 0,913$$

2.3.3 Розрахунок процесу стиску

Средня мольна ізохорна теплоємність повітря, кДж/(моль·К)

$$c'_{\text{v}} = a'_{\text{v}} + b'_{\text{v}} \cdot T = 19,26 + 0,0025 \cdot T, \quad (2.5)$$

Рівняння середньої ізохорної теплоємності суміші повітря і залишкових газів на такті стискання, кДж/(моль·К)

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c_{vc} = a_{vc} + b_c \cdot T, \quad (2.6)$$

Визначення коефіцієнтів

$$a_{vc} = \frac{\gamma_r \cdot a_v'' + [\alpha \cdot (1 + \gamma_r) - \gamma_r] \cdot a_v'}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r)}, \quad (2.7)$$

$$a_{vc} = 19,276 \quad \text{кДж/(кмоль*К)}$$

$$b_c = \frac{\gamma_r \cdot b_v'' + [\alpha \cdot (1 + \gamma_r) - \gamma_r] \cdot b_v'}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r)}, \quad (2.8)$$

$$b_c = 0,003 \quad \text{кДж/(кмоль*К)}$$

Середній показник політропи стиску

1 наближення

$$n_1 = \frac{8,314}{a_{vc} + b_c \cdot T_a \cdot (1 + \varepsilon^{n_1 - 1})} + 1, \quad (2.9)$$

$$n_1 = 1,370$$

2 наближення

$$n_1 = \frac{8,314}{a_{vc} + b_c \cdot T_a \cdot (1 + \varepsilon^{n_1 - 1})} + 1,$$

$$n_1 = 1,370$$

3 наближення

$$n_1 = \frac{8,314}{a_{vc} + b_c \cdot T_a \cdot (1 + \varepsilon^{n_1 - 1})} + 1,$$

$$n_1 = 1,370$$

Тиск в кінці стиску, МПа

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$p_c = p_d \cdot \epsilon^{n_1}, \quad (2.10)$$

$$p_c = 4,985 \quad \text{Мпа}$$

Температура в кінці стиску, К

$$T_c = T_d \cdot \epsilon^{n_1 - 1}, \quad (2.11)$$

$$T_c = 932,177 \quad \text{К}$$

2.3.4 Розрахунок процесу згоряння

Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг палива

$$L_0 = \frac{1}{0.21} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_2}{32} \right), \quad (2.12)$$

$$L_0 = 0,495 \quad \text{кмоль/кг}$$

Дійсна кількість повітря, необхідна для згоряння 1 кг палива, кмоль/кг

$$L = \alpha \cdot L_0, \quad (2.13)$$

$$L = 1,088 \quad \text{кмоль/кг}$$

Кількість свіжого заряду

$$M_1 = \alpha \cdot L_0, \quad (2.14)$$

$$M_1 = 1,08821429 \quad \text{кмоль/кг}$$

Кількість окремих компонентів продуктів згоряння, кмоль/кг

$$\text{Кількість CO}_2: \quad M_{\text{CO}_2} = \frac{C}{12}, \quad (2.15)$$

$$M_{\text{CO}_2} = 0,0725 \quad \text{кмоль/кг}$$

$$\text{Кількість H}_2\text{O}: \quad M_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{2}, \quad (2.16)$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 0,063 \quad \text{кмоль/кг}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Кількість } O_2: \quad M_{O_2} = 0.21 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0, \quad (2.17)$$

$$M_{O_2} = 0,12465 \quad \text{кмоль/кг}$$

$$\text{Кількість } N_2: \quad M_{N_2} = 0.79 \cdot \alpha \cdot L_0, \quad (2.18)$$

$$M_{N_2} = 0,85968929 \quad \text{кмоль/кг}$$

Загальна кількість продуктів згоряння.

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}, \quad (2.19)$$

$$M_2 = 1,11983929 \quad \text{кмоль/кг}$$

Хімічний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta_0 = 1 + \frac{8H + O_2}{32 \cdot L}, \quad (2.20)$$

$$\beta_0 = 1,029$$

Дійсний коефіцієнт молекулярної зміни

$$\beta = \frac{\beta_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}, \quad (2.21)$$

$$\beta = 1,028$$

Доля палива, згорівшого у точці z

$$X_z = \frac{\xi_z}{\xi_b}, \quad (2.22)$$

$$X_z = 0,944$$

Коефіцієнт молекулярного змінення у точці z

$$\beta_z = 1 + \frac{\beta_0 - 1}{1 + \gamma_r} \cdot X_z, \quad (2.23)$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\beta_z = 1,027$$

Постійна палива

$$k = \frac{8 \cdot H + O_2}{32 \cdot L_0}, \quad (2.24)$$

$$k = 0,016$$

Коефіцієнти рівнянні середньої ізохорної теплоємності газів у точці z, кДж/(кмоль*К)

$$a_{vz} = \frac{[(1+k) \cdot x_z + \gamma_r] \cdot a''_v + [\alpha \cdot (1 + \gamma_r) - (x_z + \gamma_r)] \cdot a'_v}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r) + k \cdot x_z}, \quad (2.25)$$

$$a_{vz} = 19,785 \quad \text{кДж/(кмоль*К)}$$

$$b_z = \frac{[(1+k) \cdot x_z + \gamma_r] \cdot b'' + [\alpha \cdot (1 + \gamma_r) - (x_z + \gamma_r)] \cdot b'}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r) + k \cdot x_z}, \quad (2.26)$$

$$b_z = 0,003 \quad \text{кДж/(кмоль*К)}$$

Коефіцієнти у рівнянні середньої ізохорної теплоємності у точці b, кДж/(кмоль*К)

$$a_{vb} = \frac{[(1+k) + \gamma_r] \cdot a''_v + [(1 + \gamma_r) \cdot (\alpha - 1)] \cdot a'_v}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r) + k}, \quad (2.27)$$

$$a_{vb} = 19,815 \quad \text{кДж/(кмоль*К)}$$

$$b_b = \frac{[(1+k) + \gamma_r] \cdot b'' + [(1 + \gamma_r) \cdot (\alpha - 1)] \cdot b'}{\alpha \cdot (1 + \gamma_r) + k}, \quad (2.28)$$

$$b_b = 0,003 \quad \text{кДж/(кмоль*К)}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Нижча теплота згоряння палива, кДж/кг

$$Q_H = 418,7 \cdot [81 \cdot C + 300 \cdot H - 26 \cdot (O - S) - 6 \cdot (9 \cdot H + W)], \quad (2.29)$$

$$Q_H = 45289,104 \quad \text{кДж/кг}$$

Нижча теплота згоряння палива, приведена до абсолютного нуля, кДж/кг

$$Q'_H = Q_H + \alpha \cdot L_O \cdot (1 + \gamma_r) \cdot [\beta_z \cdot (a_{vz} + b_z \cdot T_0) - (a_{vc} + b_c \cdot T_0)] \cdot T_0, \quad (2.30)$$

$$Q'_H = 45652,497 \quad \text{кДж/кг}$$

Рівняння згоряння

Постійні у рівнянні згоряння: А, В, С

$$C = \frac{\frac{\xi_z \cdot Q'_H}{\alpha \cdot L_0} + [(a_{vc} + b'_c \cdot T_c) + 8,0314 \cdot \lambda] \cdot T_c + \gamma_r \cdot [(a''_{vc} + b''_c \cdot T_c) + 8,314 \cdot \lambda] \cdot T_c}{\beta_z \cdot (1 + \gamma_r)}, \quad (2.31)$$

$$C = 63938,374$$

$$A = a_{vz} + 8,314, \quad (2.32)$$

$$A = 28,099$$

$$B = b_z, \quad (2.33)$$

$$b_z = 0,003$$

Звідки:

$$T_z = \frac{-A + \sqrt{A^2 + 4 \cdot B \cdot C}}{2 \cdot B}, \quad (2.34)$$

$$T_z = 1919,306 \quad \text{К}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Максимальний тиск у циліндрі, МПа

$$p_z = \lambda \cdot p_c. \quad (2.35)$$

$$p_z = 6,979 \quad \text{МПа}$$

2.3.5 Розрахунок процесу розширення

Ступінь попереднього розширення

$$\rho = \frac{\beta_z}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}, \quad (2.36)$$

$$\rho = 1,510$$

Ступінь подальшого розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}, \quad (2.37)$$

$$\delta = 9,272$$

Середній показник політропи розширення і температура газів у кінці процесу розширення, К

$$n_2 = \frac{8,314 \left(\frac{\beta_z}{\beta} \cdot T_z - T_b \right)}{\frac{Q_n \cdot (\xi_b - \xi_z)}{L \cdot (1 + \gamma_r) \cdot \beta} + \frac{\beta_z}{\beta} \cdot (a_{vz} + b_z \cdot T_z) \cdot T_z - (a_{xb} + b \cdot T_b) \cdot T_b}, \quad (2.38)$$

Перетворемо рівняння для n_2 , вводячи постійні члени

$$A = 8,314 \cdot \frac{\beta_z}{\beta} \cdot T_z, \quad (2.39)$$

$$A = 15932,780$$

$$B = \frac{Q_n \cdot (\xi_b - \xi_z)}{L \cdot (1 + \gamma_r) \cdot \beta} + \frac{\beta_z}{\beta} \cdot (a_{vz} + b_z \cdot T_z) \cdot T_z, \quad (2.40)$$

$$B = 49872,966$$

1 наближення

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_2 = \frac{A - 8,314 T_b}{B - (a_{vb} + b_b \cdot T_b) \cdot T_b} + 1,$$

$$n_2 = 1,274$$

2 наближення

$$T_b = T_z \cdot \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}, \quad (2.41)$$

$$T_b = 1042,724 \quad K$$

$$n_2 = 1,277$$

Тиск у кінці процесу розширення, МПа

$$P_b = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}, \quad (2.42)$$

$$p_b = 0,406 \quad \text{МПа}$$

2.3.6 Розрахунок індикаторних показників

Середній індикаторний тиск по не заокругленій діаграмі, МПа

$$p'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda \cdot (p - 1) + \frac{\lambda \cdot p}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right], \quad (2.43)$$

$$p'_i = 0,975 \quad \text{МПа}$$

Середній індикаторний тиск по заокругленій діаграмі, МПа

$$p_i = \xi \cdot p'_i \cdot (1 - \psi), \quad (2.44)$$

$$p_i = 0,926 \quad \text{МПа}$$

Індикаторна потужність, кВт

$$N_i = 13,1 \cdot d^2 \cdot S \cdot p_i \cdot z \cdot n \cdot i, \quad (2.45)$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_i = 221,123 \quad \text{кВт}$$

Питома індикаторна витрата палива, кг/(кВт*Г)

$$g_i = 433 \cdot \frac{P_s \cdot \eta_n}{L \cdot T_s \cdot p_i}, \quad (2.46)$$

$$g_i = 0,172 \quad \text{кг/(кВт*Г)}$$

Індикаторний ККД.

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \cdot Q_n}, \quad (2.47)$$

$$\eta_i = 0,463$$

2.3.7 Розрахунок ефективних показників

Середній ефективний тиск, МПа

$$p_e = p_i \cdot \eta_m, \quad (2.48)$$

$$p_e = 0,71315806 \quad \text{МПа}$$

Питома ефективна витрата палива, кг/(кВт*Г)

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m}, \quad (2.49)$$

$$g_e = 0,223 \quad \text{кг/(кВт*Г)}$$

Ефективний ККД двигуна

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m, \quad (2.50)$$

$$\eta_e = 0,35671895$$

Годинна витрата палива, кг/год.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$B_r = g_e \cdot N_e, \quad (2.51)$$

$$B_r = 37,8818791 \text{ кг/год}$$

Ефективна потужність, кВт

$$N_e = N_i \cdot \eta_m, \quad (2.52)$$

$$N_e = 170,264705 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

2.3 Розрахунок теплового балансу дизеля 3Д6Н

2.4.1 Вихідні дані:

Ефективна потужність	Ne= 170,26	кВт
Частота обертання колінвалу	n= 1500	хв ⁻¹
Діаметр циліндру	d= 150	мм
Хід поршня	S= 180	мм
Кількість циліндрів	i= 6	
Коефіцієнт тактності	Z= 4	
Нижча теплота згорання дизельного палива	Q _H = 45289	кДж/кг
Годинна витрата пального	B _r = 37,882	кг/год
Індикаторний ККД	η _i = 0,463	
Ефективний ККД	η _e = 0,357	
Кількість свіжого заряду	M ₁ = 1,088	кмоль/кг
Загальна кількість продуктів згорання	M ₂ = 1,120	кмоль/кг
Температура залишкових газів	T _r = 800	К
Температура на початку стиску	T _a = 351,456	К
Коефіцієнт надлишку повітря	α= 2,2	
Середній індикаторний тиск	P _{mi} = 0,926	МПа

2.4.2 Рівняння теплового балансу

Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом, Дж/сек

$$Q_{\Pi} = Q_e + Q_v + Q_r + Q_m + Q_{н.в}, \quad (2.53)$$

де: Q_e- теплота, еквівалентна ефективній роботі;
 Q_v- теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною;
 Q_r- теплота, яка виноситься випускними газами;
 Q_m- теплота, яка відводиться маслом;
 Q_{н.в.}- невраховані теплові втрати.

2.4.3 Теплота, яка підводиться в циліндр двигуна з паливом, Дж/сек

$$Q_{\Pi} = \frac{B_r \cdot Q_H}{3.6}, \quad (2.54)$$

$$Q_{\Pi} = 476566 \text{ Дж/сек}$$

у відсотковому відношенні q_Π приймаємо за 100%

2.4.4 Теплота, еквівалентна ефективній роботі двигуна, Дж/сек

$$Q_e = 1000 \cdot N_e, \quad (2.55)$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_e = 170265 \text{ Дж/сек}$$

у відсотковому відношенні, %

$$q_e = \frac{Q_e}{Q_{\pi}} \cdot 100, \quad (2.56)$$

$$q_e = 35,7274 \%$$

Перевірка:

$$Q'_e = Q_{\pi} \cdot \eta_e, \quad (2.57)$$

$$Q'_e = 170000 \text{ Дж/сек}$$

Виравовуємо похибку, %

$$\Delta = \frac{(Q_e - Q'_e)}{Q_e} \cdot 100, \quad (2.58)$$

$$\Delta = 0,15547 \%$$

2.4.5 Теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною, Дж/сек

$$Q_B = Q_W + Q_{T.П.} + Q_{B.H.}, \quad (2.59)$$

Q_W - теплота, яка відводиться робочим тілом в стінки циліндра;

$Q_{T.П.}$ - теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра;

$Q_{B.H.}$ -теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу.

Теплообмін між робочим тілом і стінками циліндра, Дж/сек

$$Q_W = (-W_{\text{нап}} + W_{\text{СТ}} + W_{\text{Г.Р.}} + W_{\text{вип}}) \cdot Q_{\text{ч}}, \quad (2.60)$$

$W_{\text{нап.}}$, $W_{\text{ст.}}$, $W_{\text{Г.р.}}$, $W_{\text{вип}}$ - відповідно відносні втрати палива на дільницях наповнення, стиску, горіння-розширення та випуску газів із циліндра.

З експериментальних даних:

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{нап.}} = 0$$

$$W_{\text{ст.}} = 0$$

$$W_{\text{г.р.}} = 0,09 - 0,16 = 0,14$$

$$W_{\text{вип}} = 0,01 - 0,05 = 0,04$$

$$Q_w = 85781,8 \text{ Дж/сек}$$

Теплота, еквівалентна роботі на тертя поршня по гільзі циліндра

Середній тиск механічних втрат в механізмах двигуна, кПа

$$P_{\text{мд}} = (a + b \cdot C_m) \cdot 10^3, \quad (2.61)$$

a, b - коефіцієнти для визначення середнього тиску механічних втрат;

$$a = 0,09$$

$$b = 0,012$$

C_m - середня швидкість поршня, м/с;

$$C_m = \frac{S \cdot n}{30}, \quad (2.62)$$

$$C_m = 9 \text{ м/с}$$

$$P_{\text{мд}} = 198 \text{ кПа}$$

Середній тиск тертя поршня, кПа

$$P_{\text{ср.т.}} = 0.6 \cdot P_{\text{мд}}, \quad (2.63)$$

$$P_{\text{ср.т.}} = 118,8 \text{ кПа}$$

Потужність тертя поршня, кПа

$$P_{\text{п}} = \frac{P_{\text{ср.т.}} \cdot V_s \cdot n \cdot i}{30 \cdot z}, \quad (2.64)$$

V_s - робочий об'єм циліндру, м³;

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot S}{4}, \quad (2.65)$$

$$V_s = 0,00318 \text{ м}^3$$

$$P_{\text{п}} = 28,3271 \text{ кВт}$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплота, еквівалентна роботі тертя поршня, Дж/сек

$$Q_{\text{т.п.}} = 1000 \cdot P_{\text{п}}, \quad (2.66)$$

$$Q_{\text{т.п.}} = 28327,1 \text{ Дж/сек}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід водяного насосу

Визначаємо витрату води, як суму теплоти, Дж/сек

$$Q'_B = Q_W + Q_{\text{т.п.}}, \quad (2.67)$$

$$Q'_B = 114109 \text{ Дж/сек}$$

Витрата охолоджуючої рідини, м³/с

$$V_B = \frac{Q'_B \cdot 10^{-3} \cdot K}{\rho_B \cdot C_{\text{тв}} \cdot \Delta T_B}, \quad (2.68)$$

K - 1,2....1,5 - коефіцієнт запасу;

$$K = 1,2$$

ρ_B - середня щільність води;

$$\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$C_{\text{тв}}$ - середня теплоємність води;

$$C_{\text{тв}} = 4,19 \text{ кДж/кг}$$

ΔT_B - 6....10 - температурний перепад води в холодильнику;

$$\Delta T_B = 10 \text{ К}$$

$$V_B = 0,00327 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід водяного насосу, кВт

$$P_{\text{в.н.}} = \frac{V_B \cdot \Delta P_B}{\eta_{\text{в.н.}}}, \quad (2.69)$$

ΔP_B - гідравлічний опір системи охолодження;

$$\Delta P_B = 98 \text{ кПа}$$

$\eta_{\text{в.н.}}$ - 0,8....0,9 - ККД водяного насосу.

$$\eta_{\text{в.н.}} = 0,9$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{в.н.}} = 0,35585 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{в.н.}} = 355,853 \text{ Дж/сек}$$

Загальна теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною, Дж/сек

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{w}} + Q_{\text{т.п.}} + Q_{\text{в.н.}}, \quad (2.70)$$

$$Q_{\text{в}} = 114465 \text{ Дж/сек}$$

у відсотковому відношенні, %

$$q_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{п}}} \cdot 100, \quad (2.71)$$

$$q_{\text{в}} = 24,0187 \%$$

2.4.6 Теплота, яка виноситься випускними газами, Дж/сек

$$Q_{\text{г}} = \frac{B_{\text{г}}}{3.6} \left[M_2 \cdot (mC_p)_{t_0}^{t_2} \cdot t_{\text{г}} - M_1 \cdot (mC_p)_{t_0}^{t_d} \cdot t_d \right] \quad (2.72)$$

mC_p'' - ізобарна теплоємність продуктів згорання;

$$mC_p'' = 31,256$$

mC_p - ізобарна теплоємність свіжого заряду.

$$mC_p = 29,136$$

$$t_{\text{г}} = T_{\text{г}} - 273^0$$

$$t_{\text{г}} = 527 \text{ К - температура залишкових газів;}$$

$$t_d = T_d - 273^0$$

$$t_d = 78,4563 \text{ К - температура на початку стиску.}$$

$$Q_{\text{г}} = 167926 \text{ Дж/сек}$$

у відсотковому відношенні, %

$$q_{\text{г}} = \frac{Q_{\text{г}}}{Q_{\text{п}}} \cdot 100, \quad q_{\text{г}} = 35,2366 \%$$

2.4.7 Теплота, яка відводиться маслом

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Теплота, яка відводиться маслом від гарячих деталей двигуна, Дж/сек

$$Q_{M1} = (Q_w + Q_{MD}) - Q_v, \quad (2.74)$$

Теплота, еквівалентна роботі на подолання опору в механізмах двигуна, Дж/сек

$$Q_{MD} = \Delta_{MD} \cdot Q_{\Pi}, \quad (2.75)$$

Доля втрат в механізмах двигуна

$$\Delta_{MD} = \frac{P_{MD} \cdot \eta_i}{P_{mi}}, \quad (2.76)$$

$$\Delta_{MD} = 0,09904$$

$$Q_{MD} = 47198,5 \text{ Дж/сек}$$

$$Q_{M1} = 18515,5 \text{ Дж/сек}$$

Теплота, еквівалентна роботі на привід насоса, Дж/сек

Витрата циркуляційного масла, м³/с

$$V_M = \frac{K \cdot Q_{M1}}{\rho_M \cdot C_{mm} \cdot \Delta T_M}, \quad (2.77)$$

K - 1,2...1,5 - коефіцієнт запасу;

$$K = 1,3$$

ρ_M - щільність масла;

$$\rho_M = 900 \text{ кг/м}^3$$

C_{mm} - середня теплоємність масла;

$$C_{mm} = 2,094 \text{ кДж/кг}$$

ΔT_M - 6..15 К - температурний перепад масла в охолоджувачі двигуна.

$$\Delta T_M = 12 \text{ К}$$

$$V_M = 0,00106 \text{ м}^3/\text{с}$$

Потужність, яка використовується на привід масляного насоса, кВт

$$P_{M.H.} = \frac{V_M \cdot P_0}{\eta \cdot 10^3}, \quad (2.78)$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$P_0 - (0,3 \dots 0,4)10^6$ - робочий тиск масла в системі;

$$P_0 = 320000 \text{ Па}$$

η_m - механічний ККД масляного насоса;

$$\eta_m = 0,9$$

$$P_{m.n.} = 0,37843 \text{ кВт}$$

Тоді:

$$Q_{H2} = 1000 \cdot P_{m.n.}, \quad (2.79)$$

$$Q_{H2} = 378,431 \text{ Дж/сек}$$

Загальна кількість теплоти складає, Дж/сек

$$Q_m = Q_{m1} + Q_{m2}, \quad (2.80)$$

$$Q_m = 18894 \text{ Дж/сек}$$

у відсотковому відношенні, %

$$q_m = \frac{Q_m}{Q_{\Pi}} \cdot 100, \quad (2.81)$$

$$q_m = 3,96461 \%$$

2.4.8 Невраховані теплові втрати, Дж/сек

$$Q_{H.B.} = Q_{\Pi} - (Q_e + Q_b + Q_r + Q_m), \quad (2.82)$$

$$Q_{H.B.} = 5016,64 \text{ Дж/сек}$$

у відсотковому відношенні:

$$q_{H.B.} = \frac{Q_{H.B.}}{Q_{\Pi}} \cdot 100, \quad (2.83)$$

у відсотковому відношенні, %

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{н.в.} = 1,05267 \quad \%$$

Всі отримані дані зведені в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 Зведена таблиця теплового балансу

Складові теплового балансу	Дж/сек	%
теплота, еквівалентна ефективній роботі	170265	35,727
теплота, яка відводиться охолоджувальною рідиною	114465	24,019
теплота, яка виноситься випускними газами	167926	35,237
теплота, яка відводиться маслом	18894	3,965
невраховані теплові втрати	5016,64	1,053
Загальна кількість теплоти, введеної в двигун з паливом	476566	100

2.4.1 Розрахунок індикаторної діаграми двигуна

2.5.1 Розрахунок теоретичної індикаторної діаграми

Вихідні дані

Середній індикаторний тиск	$P_{mi} = 0,926$	МПа
Тиск в кінці впуску	$P_d = 0,134$	МПа
Показник політропи стиску	$n_1 = 1,370$	
Ступінь стиску	$\epsilon_c = 14,000$	
Максимальний тиск в циліндрі	$P_{max} = 6,979$	МПа
Показник політропи розширення	$n_2 = 1,277$	
Ступінь попереднього розширення	$\rho = 1,510$	
Масштаб по осі тиску	$m_p = 0,050$	МПа/мм

Розрахункові дані зводимо до таблиці 2.2

Таблиця 2.2 Результати розрахунку

V/V_c	$P_{ст.}, \text{МПа}$	$P_{ст.}, \text{мм}$	$P_{роз.}, \text{МПа}$	$P_{роз.}, \text{мм}$	$P_{ср.}, \text{МПа}$
1	4,9851	99,702			
1,5	2,86086	57,217			
1,510	2,83528	56,706	6,97914	139,58	3,143859
1,75	2,31636	46,327	5,780462	115,61	2,464106
2	1,92921	38,584	4,874392	97,488	1,945187
3	1,10714	22,143	2,904647	58,093	1,69751
4	0,74659	14,932	2,011759	40,235	0,965167
5	0,54999	11	1,51302	30,26	0,863031
6	0,42846	8,5691	1,198806	23,976	0,67035
7	0,34691	6,9382	0,984631	19,693	0,537723
8	0,28893	5,7785	0,830293	16,606	0,441366
9	0,24588	4,9177	0,714367	14,287	0,368485
10	0,21284	4,2568	0,624453	12,489	0,311611
11	0,1868	3,7359	0,552906	11,058	0,266111
12	0,16581	3,3162	0,494771	9,8954	0,228961
13	0,14859	2,9719	0,446705	8,9341	0,198112
14	0,13425	2,685	0,406377	8,1275	0,172125
$P_{mi}^D =$					0,95158

Об'єм камери згорання, мм

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1}, \quad (2.84)$$

$V_s = [AB] = 260$ мм - приведенний робочий об'єм.

$V_c = 20$ мм

Похибка середнього індикаторного тиску, %

$$\Delta P_{mi} = \frac{|P_{mi} - P_{mi}^d|}{P_{mi\text{ ср}}} \cdot 100, \quad (2.85)$$

$$P_{mi\text{ ср}} = \frac{P_{mi} + P_{mi}^d}{2}, \quad (2.86)$$

$P_{mi\text{ ср}} = 0,93888$ МПа

$\Delta P_{mi} = 2,70546$ %

Похибка не перевищує 5%

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ордината точки r, мм

$$\frac{P_r}{m_p}, \quad (2.87)$$

$$\frac{P_r}{m_p} = 2,20$$

Тиск газів в ВМТ, МПа

$$P_{c''} = (1.15 - 1.25) \cdot P_c, \quad (2.88)$$

1,2 Число з інтервалу.

$$P_{c''} = 5,98212007 \text{ МПа}$$

$$P_{c''} = 119,64 \text{ мм}$$

Максимальний тиск згоряння для дизеля, МПа

$$P_{zd} = P_{\max} \quad (2.89)$$

$$P_{zd} = 6,979140081 \text{ МПа}$$

$$P_{zd} = 139,58 \text{ мм}$$

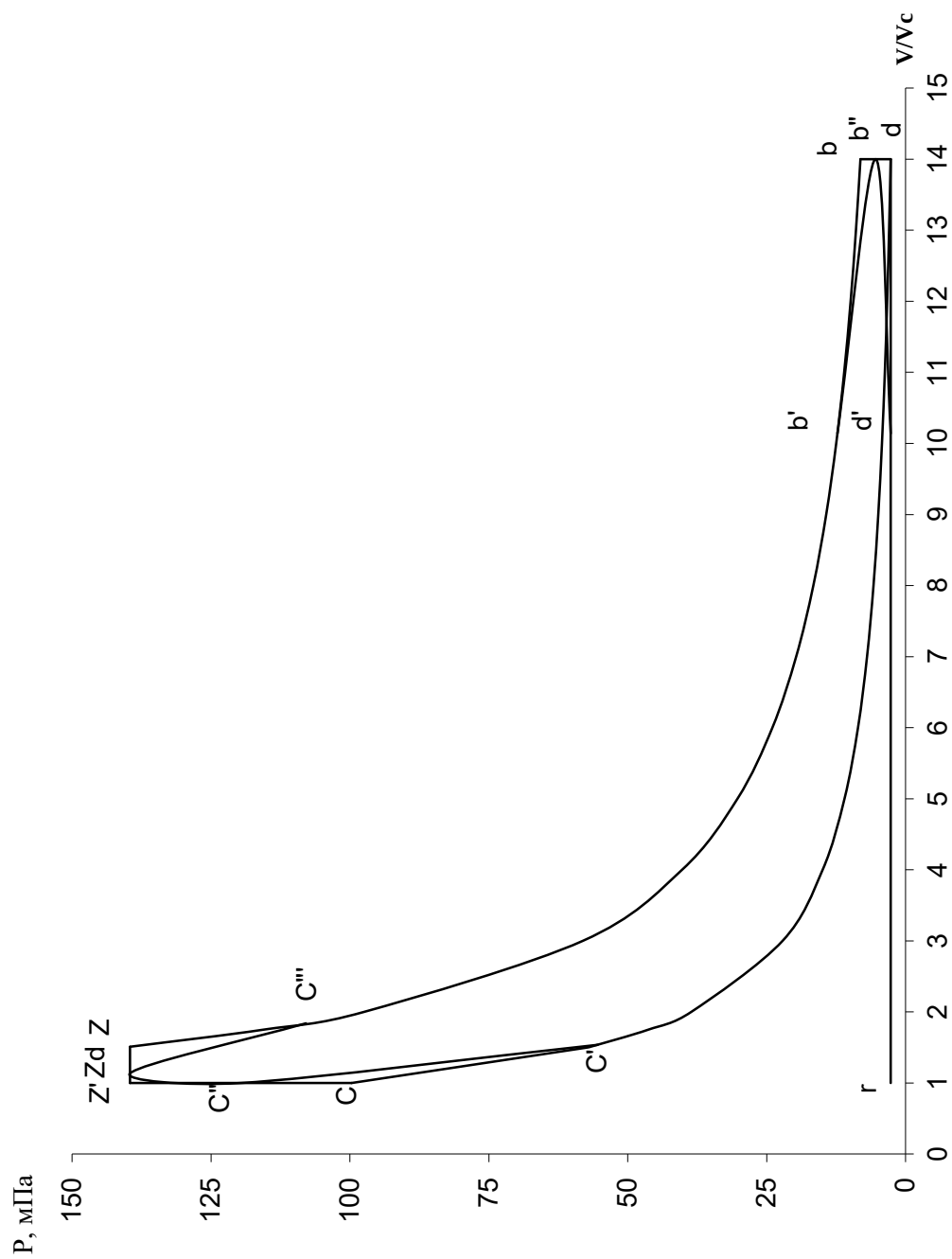


Рисунок 2.6 Дійсна і теоретична індикаторна діаграма

2.5 Динамічний розрахунок двигуна

2.6.1 Вихідні дані

Площа поршня	$\lambda = 0,018$	м^2
Кривошипно-шатунне відношення	$\lambda_L = 0,281$	
Маса деталей, що рухаються зворотно-поступально	$m_s = 8,200$	кг
Радіус кривошипа	$r = 0,090$	м
Кутова швидкість	$\omega = 157,000$	с^{-1}
Масштаб сил	$m_F = 1,500$	кН/мм
Тиск в кінці впуску	$P_d = 134,251$	кПа
Атмосферний тиск	$P_o = 101,300$	кПа
Показник політропи стиску	$n_1 = 1,370$	
Показник політропи розширення	$n_2 = 1,277$	
Теоретичний тиск згорання	$P_{\max} = 6979,140$	кПа
Дійсний тиск згорання	$P_{zd} = 6979,140$	кПа
Дійсний тиск в кінці стиску	$P_c = 5982,120$	кПа
Тиск залишкових газів	$P_r = 110,000$	кПа
Тиск в кінці розширення	$P_b = 406,377$	кПа
Діаметр циліндра	$d = 0,150$	м
Хід поршня	$S = 0,180$	м
Ступінь стиску	$\varepsilon = 14,000$	
Частота обертання	$n = 1500$	хв^{-1}

2.6.2 Сили, що діють на деталі КШМ

Сили тиску газу, Н

$$F_r = (P_c - P_a) \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (2.90)$$

Сили інерції мас, що рухаються зворотно-поступально, Н

$$F_i = -m_s \cdot r \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda_L \cos 2 \varphi), \quad (2.91)$$

Сумарна сила (дійсна), Н

$$F_d = F_r \pm F_i, \quad (2.92)$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нормальна сила, Н

$$F_H = F_d \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (2.93)$$

Радіальна сила, Н

$$F_p = F_d \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \quad (2.94)$$

Дотична сила, Н

$$F_K = F_d \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}, \quad (2.95)$$

Робочий об'єм, м³

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot S,$$

$V_s = 0,003 \quad \text{м}^3$

Об'єм камери стиску, м³

$$V_c = \frac{V_s}{\varepsilon - 1},$$

$V_c = 0,00024 \quad \text{м}^3$

Повний об'єм, м³

$$V_a = V_s + V_c, \quad (2.96)$$

$V_a = 0,003 \quad \text{м}^3$

Об'єм над поршнем в залежності від кута повороту кривошипа, м³

$$V_f = A \cdot r \cdot \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_L}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] + V_c, \quad (2.97)$$

Результати динамічного розрахунку зводимо до таблиці 2.4

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 2.4 Результати динамічного розрахунку

φ°	V_f	F_r	F_i	F_d	F_n	F_p	F_k	F_r	F_i	F_d	F_n	F_p	F_k
пкв	м ³	кН	кН	кН	кН	кН	кН	мм	мм	мм	мм	мм	мм
0	0,0002	0,154	-23,303	-23,15	0	-23,15	0	0,102	-15,54	-15,43	0	-15,43	0
10	0,0003	0,582	-22,718	-22,14	-1,081	-21,61	-4,909	0,388	-15,15	-14,76	-0,721	-14,41	-3,273
20	0,0004	0,582	-21,01	-20,43	-1,972	-18,52	-8,84	0,388	-14,01	-13,62	-1,315	-12,35	-5,893
30	0,0005	0,582	-18,31	-17,73	-2,516	-14,09	-11,04	0,388	-12,21	-11,82	-1,677	-9,397	-7,362
40	0,0007	0,582	-14,823	-14,24	-2,615	-9,228	-11,16	0,388	-9,882	-9,494	-1,743	-6,152	-7,438
50	0,0009	0,582	-10,805	-10,22	-2,253	-4,845	-9,28	0,388	-7,204	-6,816	-1,502	-3,23	-6,187
60	0,0012	0,582	-6,5397	-5,958	-1,495	-1,684	-5,907	0,388	-4,36	-3,972	-0,996	-1,123	-3,938
70	0,0015	0,582	-2,3059	-1,724	-0,472	-0,146	-1,781	0,388	-1,537	-1,149	-0,315	-0,097	-1,188
80	0,0018	0,582	1,6446	2,227	0,641	-0,245	2,304	0,388	1,096	1,484	0,427	-0,163	1,536
90	0,0021	0,582	5,1117	5,694	1,667	-1,667	5,694	0,388	3,408	3,796	1,111	-1,111	3,796
100	0,0023	0,582	7,9622	8,544	2,461	-3,907	7,987	0,388	5,308	5,696	1,64	-2,605	5
110	0,0026	0,582	10,137	10,72	2,935	-6,424	9,069	0,388	6,758	7,146	1,956	-4,283	6,046
120	0,0028	0,582	11,651	12,23	3,069	-8,775	9,06	0,388	7,768	8,156	2,046	-5,85	6,04
130	0,003	0,582	12,581	13,16	2,901	-10,68	8,218	0,388	8,387	8,775	1,934	-7,122	5,479
140	0,0031	0,582	13,047	13,63	2,503	-12,05	6,843	0,388	8,698	9,086	1,669	-8,033	4,562
150	0,0033	0,582	13,198	13,78	1,955	-12,91	5,197	0,388	8,799	9,187	1,304	-8,608	3,464
160	0,0034	0,582	13,178	13,76	1,329	-13,38	3,458	0,388	8,785	9,173	0,886	-8,923	2,305
170	0,0034	0,582	13,111	13,69	0,669	-13,6	1,719	0,388	8,741	9,129	0,446	-9,068	1,146
180	0,0034	0,582	13,079	13,66	0	-13,66	0	0,388	8,72	9,108	0,00	-9,108	0,00
190	0,0034	0,599	13,111	13,71	-0,67	-13,62	-1,721	0,399	8,741	9,14	-0,447	-9,079	-1,147
200	0,0034	0,65	13,178	13,83	-1,335	-13,45	-3,475	0,433	8,785	9,219	-0,89	-8,967	-2,317
210	0,0033	0,74	13,198	13,94	-1,978	-13,06	-5,256	0,493	8,799	9,292	-1,319	-8,706	-3,504
220	0,0031	0,875	13,047	13,92	-2,557	-12,31	-6,991	0,584	8,698	9,282	-1,705	-8,206	-4,661

ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ

Лист

62

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ

Лист

63

230	0,003	1,069	12,581	13,65	-3,009	-11,08	-8,522	0,713	8,387	9,1	-2,006	-7,386	-5,682
240	0,0028	1,339	11,651	12,99	-3,259	-9,318	-9,621	0,893	7,768	8,66	-2,173	-6,212	-6,414
250	0,0026	1,714	10,137	11,85	-3,244	-7,102	-10,03	1,142	6,758	7,901	-2,163	-4,735	-6,684
260	0,0023	2,235	7,9622	10,2	-2,937	-4,663	-9,533	1,49	5,308	6,798	-1,958	-3,109	-6,355
270	0,0021	2,974	5,1117	8,085	-2,367	-2,367	-8,085	1,983	3,408	5,39	-1,578	-1,578	-5,39
280	0,0018	4,043	1,6446	5,687	-1,638	-0,625	-5,885	2,695	1,096	3,792	-1,092	-0,417	-3,924
290	0,0015	5,637	-2,3059	3,331	-0,912	0,282	-3,442	3,758	-1,537	2,221	-0,608	0,188	-2,295
300	0,0012	8,101	-6,5397	1,561	-0,392	0,441	-1,548	5,401	-4,36	1,041	-0,261	0,294	-1,032
310	0,0009	12,07	-10,805	1,262	-0,278	0,598	-1,146	8,045	-7,204	0,842	-0,186	0,399	-0,764
320	0,0007	18,71	-14,823	3,891	-0,715	2,521	-3,049	12,48	-9,882	2,594	-0,476	1,681	-2,032
330	0,0005	30,1	-18,31	11,79	-1,673	9,375	-7,344	20,07	-12,21	7,861	-1,115	6,25	-4,896
340	0,0004	48,79	-21,01	27,79	-2,683	25,19	-12,02	32,53	-14,01	18,52	-1,789	16,79	-8,016
350	0,0003	73,03	-22,718	50,31	-2,458	49,12	-11,16	48,68	-15,15	33,54	-1,638	32,74	-7,437
360	0,0002	103,9	-23,303	80,57	0	80,57	0	69,25	-15,54	53,71	0	53,71	0
370	0,0003	121,5	-22,718	98,76	4,825	96,42	21,9	80,99	-15,15	65,84	3,217	64,28	14,6
380	0,0004	71,74	-21,01	50,73	4,898	46	21,95	47,83	-14,01	33,82	3,266	30,66	14,64
390	0,0005	46,04	-18,31	27,73	3,935	22,05	17,27	30,69	-12,21	18,49	2,623	14,7	11,51
400	0,0007	29,9	-14,823	15,07	2,768	9,767	11,81	19,93	-9,882	10,05	1,845	6,512	7,873
410	0,0009	20,2	-10,805	9,396	2,071	4,453	8,529	13,47	-7,204	6,264	1,381	2,969	5,686
420	0,0012	14,27	-6,5397	7,729	1,939	2,185	7,663	9,513	-4,36	5,153	1,293	1,457	5,109
430	0,0015	10,5	-2,3059	8,199	2,245	0,695	8,472	7,003	-1,537	5,466	1,496	0,463	5,648
440	0,0018	8,025	1,6446	9,67	2,785	-1,063	10,01	5,35	1,096	6,447	1,856	-0,709	6,671
450	0,0021	6,337	5,1117	11,45	3,352	-3,352	11,45	4,225	3,408	7,632	2,235	-2,235	7,632
460	0,0023	5,156	7,9622	13,12	3,778	-5,998	12,26	3,437	5,308	8,746	2,519	-3,999	8,175
470	0,0026	4,313	10,137	14,45	3,956	-8,66	12,23	2,875	6,758	9,634	2,637	-5,773	8,151
480	0,0028	3,703	11,651	15,35	3,852	-11,01	11,37	2,469	7,768	10,24	2,568	-7,342	7,581

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ

Лист

64

490	0,003	3,26	12,581	15,84	3,492	-12,86	9,89	2,173	8,387	10,56	2,328	-8,571	6,593
500	0,0031	2,94	13,047	15,99	2,936	-14,13	8,027	1,96	8,698	10,66	1,957	-9,423	5,352
510	0,0033	2,714	13,198	15,91	2,258	-14,91	6,001	1,81	8,799	10,61	1,505	-9,94	4
520	0,0034	2,565	13,178	15,74	1,52	-15,31	3,956	1,71	8,785	10,5	1,013	-10,21	2,637
530	0,0034	2,48	13,111	15,59	0,762	-15,49	1,957	1,653	8,741	10,39	0,508	-10,32	1,305
540	0,0034	2,403	13,079	15,48	0	-15,48	0	1,602	8,72	10,32	0	-10,32	0
550	0,0034	0,154	13,111	13,26	-0,648	-13,18	-1,665	0,102	8,741	8,843	-0,432	-8,784	-1,11
560	0,0034	0,154	13,178	13,33	-1,287	-12,97	-3,35	0,102	8,785	8,888	-0,858	-8,645	-2,233
570	0,0033	0,154	13,198	13,35	-1,895	-12,51	-5,035	0,102	8,799	8,901	-1,263	-8,34	-3,357
580	0,0031	0,154	13,047	13,2	-2,424	-11,67	-6,628	0,102	8,698	8,801	-1,616	-7,781	-4,419
590	0,003	0,154	12,581	12,73	-2,807	-10,34	-7,951	0,102	8,387	8,489	-1,871	-6,89	-5,3
600	0,0028	0,154	11,651	11,8	-2,962	-8,467	-8,742	0,102	7,768	7,87	-1,975	-5,645	-5,828
610	0,0026	0,154	10,137	10,29	-2,817	-6,167	-8,707	0,102	6,758	6,861	-1,878	-4,111	-5,805
620	0,0023	0,154	7,9622	8,116	-2,337	-3,711	-7,587	0,102	5,308	5,411	-1,558	-2,474	-5,058
630	0,0021	0,154	5,1117	5,265	-1,542	-1,542	-5,265	0,102	3,408	3,51	-1,028	-1,028	-3,51
640	0,0018	0,154	1,6446	1,798	-0,518	-0,198	-1,861	0,102	1,096	1,199	-0,345	-0,132	-1,241
650	0,0015	0,154	-2,3059	-2,152	0,589	-0,182	2,224	0,102	-1,537	-1,435	0,393	-0,122	1,483
660	0,0012	0,154	-6,5397	-6,386	1,602	-1,805	6,332	0,102	-4,36	-4,257	1,068	-1,204	4,221
670	0,0009	0,154	-10,805	-10,65	2,348	-5,048	9,669	0,102	-7,204	-7,101	1,565	-3,365	6,446
680	0,0007	0,154	-14,823	-14,67	2,694	-9,506	11,49	0,102	-9,882	-9,779	1,796	-6,337	7,662
690	0,0005	0,154	-18,31	-18,16	2,576	-14,44	11,31	0,102	-12,21	-12,1	1,718	-9,624	7,54
700	0,0004	0,154	-21,01	-20,86	2,014	-18,91	9,025	0,102	-14,01	-13,9	1,342	-12,61	6,017
710	0,0003	0,154	-22,718	-22,56	1,102	-22,03	5,004	0,102	-15,15	-15,04	0,735	-14,69	3,336
720	0,0002	0,154	-23,303	-23,15	0	-23,15	0	0,102	-15,54	-15,43	0	-15,43	0

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТАС

3.1 Вихідні положення

Визначення ефективності і вибір параметрів теплоакумуючої системи у складі енергетичної установки малотоннажного судна проведені на базі розробленої математичної моделі, у основу якої покладені принципи системно-ієрархічного підходу.

Відповідно до принципів системно-ієрархічного підходу на верхньому ієрархічному рівні виступає сама теплоакумуюча система, в якості підсистем: тепловий акумулятор, теплообмінники, арматура.

Аналіз складу енергетичної установки малотоннажного судна показує, що основним джерелом теплової енергії, акумуляція якої представляється доцільною, є працюючий двигун внутрішнього згорання.

Відповідно до теплового балансу ДВЗ теплова ефективність суднової системи акумуляції тепла може бути представлена залежністю:

$$\eta_{\text{ак}} = \frac{Q_{\text{ак}}}{Q} = (a_{\text{в}} \cdot \phi_1 + a_{\text{м}} \cdot \phi_2 + a_{\text{е}} \cdot \phi_3 + a_{\text{г}} \cdot \phi_4 + a_{\text{нс}} \cdot \phi_5) \leq 1,$$

де: $Q_{\text{ак}}$ - кількість корисно використаного теплоакумуючою системою тепла, кДж;

Q - кількість тепла, утвореного при роботі ДВЗ, кДж;

a - відносна величина теплового балансу ДВЗ;

ϕ – коефіцієнт використання тепла складових теплового балансу ДВЗ системою акумуляції.

Коефіцієнти $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5$ диференційовано характеризують ефективність використання тепла системою акумуляції:

$$\phi_1 = \frac{Q_{\text{ак}}^{\text{в}}}{Q^{\text{в}}}; \quad \phi_2 = \frac{Q_{\text{ак}}^{\text{м}}}{Q^{\text{м}}};$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\phi_3 = \frac{Q_{ак}^e}{Q^e};$$

$$\phi_4 = \frac{Q_{ак}^r}{Q^r};$$

$$\phi_5 = \frac{Q_{ак}^{hc}}{Q^{hc}};$$

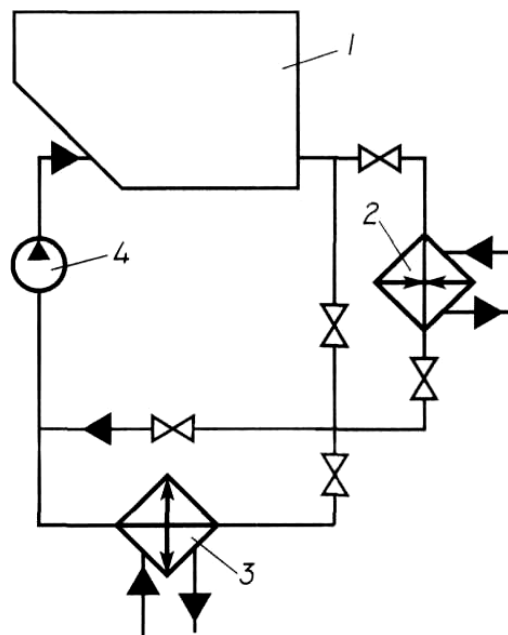


Рисунок 3.1 Принципова схема теплоакумлюючої системи в складі ЕУ МТС

1 - ДВЗ; 2 - тепловий акумулятор; 3 - теплообмінник; 4 – насос

де: $Q_{ак}^B$, $Q_{ак}^M$, $Q_{ак}^e$, $Q_{ак}^r$, $Q_{ак}^{hc}$ - кількість тепла з акумульованого від охолоджуючої води ДВЗ, масла, ефективної роботи ДВЗ, вихлопних газів, неврахованих складових, кДж;

Q^B , Q^M , Q^e , Q^r , Q^{hc} - тепло, яке утворюється при роботі ДВЗ, яке відводиться в охолоджуючу воду, масло, відводиться з вихлопними газами, невраховані теплові втрати, кДж.

У реальних суднових умовах досягнення фіксованих значень $\eta_{ак}$ можливо шляхом застосування різних принципових схем систем акумуляції, орієнтованих вибірково на ті або інші види теплових втрат і їх комбінацій.

Виконаний аналіз можливих принципових схем систем акумуляції дозволив синтезувати схему теплоакумлюючої системи у складі енергетичних установок малотоннажних суден (рисунок 3.1), яка і була прийнята за основу при моделюванні.

Оцінка рівнів можливих температур нагріву теплоакумуючих середовищ, і температур, необхідних, перш за все, для роботи судових споживачів за рахунок акумульованого тепла, дозволила зробити наступні висновки:

- використання високотемпературних теплоакумуючих матеріалів можливо в системах, що акумулюють частину ефективної роботи ДВЗ (наприклад, надмірну потужність при роботі дизель-генератора), і в системах акумуляції тепла газів, що відходять;
- слід визнати доцільним до розгляду в якості низькотемпературних акумулюючих матеріалів теплові акумулятори робочі рідини циклу ДВЗ - воду, циркулюючу в системі охолодження ДВЗ, і масло, циркулююче в масляній системі;
- теплові акумулятори можуть здійснювати свою зарядку за рахунок прямого контакту теплоносія з теплоакумуючим матеріалом, за допомогою трубчастого електронагрівача (ТЕН), з використанням додаткового теплообмінника;
- відведення з акумульованої теплової енергії до споживача може здійснюватися шляхом безпосереднього використання теплоакумуючого матеріалу.

З урахуванням вищевикладеного, забезпечення простоти в експлуатації і надійності в роботі, в якості модельованих конструкцій теплових акумуляторів розглядаються (рисунок 3.2) теплові акумулятори з низькотемпературним теплоакумуючим матеріалом.

3.2 Визначення теплових навантажень судових споживачів, що використовують енергію систем акумуляції

Одним з основних показників, що визначають параметри системи акумуляції тепла, є величина корисно використаної кількості тепла, з

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

акумуляованого нею, чисельне значення якої в загальному випадку може бути визначена залежністю, кДж:

$$Q_{ак} = Q_{н}^p \int_0^{\tau} \eta_{ак} \cdot g_e \cdot N_e d\tau ,$$

де: $Q_{н}^p$ - нижча теплота. згорання палива, кДж/кг;

$\eta_{ак}$ - ефективність суднової системи акумуляції тепла;

g_e - питома витрата палива, кг/(кВт.ч);

N_e - потужність енергетичної установки, кВт;

τ - тривалість роботи ДВЗ, год.

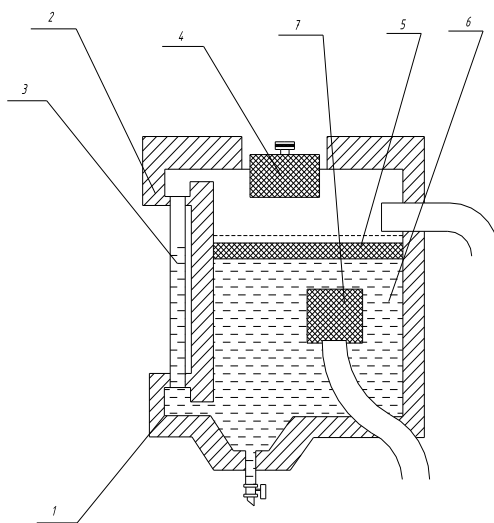


Рисунок 3.2 Принципова конструктивна схема теплового акумулятора

1 - витратний масляний бак; 2 - теплоізоляція; 3 - вказівник рівня масла; 4 - заливна горловина бака з сіткою; 5 - піногасник; 6 - масло; 7 - фільтр сітчастий

Очевидно, що величина $\eta_{ак}$ може визначатися безліччю функцій:

$\eta_{ак} = f(F)$, при $F \in \Omega$, $N_e = \text{const}$, $j = \text{const}$,

де: Ω - область значень функцій $N = f(X_0, X_1, X_2, \dots, X_n, \tau)$ і $g_e = f(N)$, які визначаються енергетичними параметрами ДВЗ, цільовим призначенням судна, погодними умовами і ін.;

j - конструктивний параметр, що визначає ідентичність енергетичної установки (при розгляді одного і того ж ДВЗ $j = \text{const}$).

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

З іншого боку, значення $\eta_{ак}$ може визначати вид функції F .

При цьому, як в першому, так і в другому випадках безліч значень видів функції F робить визначення величини корисно використовуваної кількості тепла, акумуляції системою, багатоваріантною, багатofакторною. Ця обставина приводить до необхідності вибору підходу до визначення величини $Q_{ак}$.

Прийнятним варіантом рішення даної задачі є зведення питання визначення величини корисно використаної кількості тепла, з акумульованого системою, до ряду приватних завдань, при рішенні яких $Q_{ак}$ визначається величиною теплових навантажень суднових споживачів акумульованого тепла.

У відповідності з розглянутими вище основними напрямками використання акумульованої енергії (розд.1.1) визначені значення теплових навантажень суднових споживачів.

Одним з можливих шляхів використання енергії суднової теплоакumuлюючої системи є здійснення передпускового нагріву ДВЗ в умовах низьких температур оточуючого середовища.

Для цього, відповідно до вимог по технічній експлуатації ДВЗ, необхідно здійснити розігрівання елементів зарубашечного простору двигуна шляхом заповнення його гарячою водою з $T \approx 363...370$ К, підігріти масло, що поступає до елементів змазки ДВЗ, і паливо, що йде до форсунок.

В даному випадку величини $Q_{ак}$ визначиться, кДж:

$$Q_{ак} = Q_{в} + Q_{м} + Q_{п} + Q_{нс},$$

де: $Q_{в}$, $Q_{м}$, $Q_{п}$, $Q_{нс}$ - кількість тепла, яке іде на нагрів елементів зарубашечного простору ДВЗ, масла, палива, навколишнє середовище, кДж.

Кількість тепла, необхідне для нагріву елементів зарубашечного простору, кДж:

$$Q_{в} = (M_1 + M_2) \cdot \Delta H (T_{н}),$$

де: $\Delta H(T_{н})$ - різниця ентальпій корпусу ДВЗ в розігрітому і холодному стані, кДж/кг;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

M_1, M_2 - маси металу припошневої і зовнішніх частин зарубашечного простору ДВЗ, кг.

Розглянемо принципову схему конструкції ДВС у області зарубашечного простору і визначимо маси елементів дизеля, що нагріваються (рисунок 3.3):

$$M_1 = z \cdot \rho \cdot (d + 2\delta_{\text{ст}}) \cdot \delta_{\text{ст}} \cdot (2k_{\text{н}} \cdot S + k_{\text{в}} \cdot d - 2\delta_{\text{ст}}),$$

$$M_2 = z \cdot \rho \cdot (d + 2\delta_{\text{ст}}) \cdot \delta_{\text{ст}} \cdot (2k_{\text{н}} \cdot S + k_{\text{в}} \cdot d + 2(\delta_{\text{зав}} + \delta_{\text{ст}})),$$

де: z - число поршнів двигуна;

ρ - щільність матеріалу корпусу двигуна, кг/м^3 ;

$\delta_{\text{ст}}, \delta_{\text{зав}}$ - товщина металевих елементів корпусів і водяної рубашки, м;

S - висота ходу поршня, м;

D - діаметр поршня, м;

$k_{\text{н}}, k_{\text{в}}$ - коефіцієнти висоти втулки і ширини кришки циліндра ДВЗ

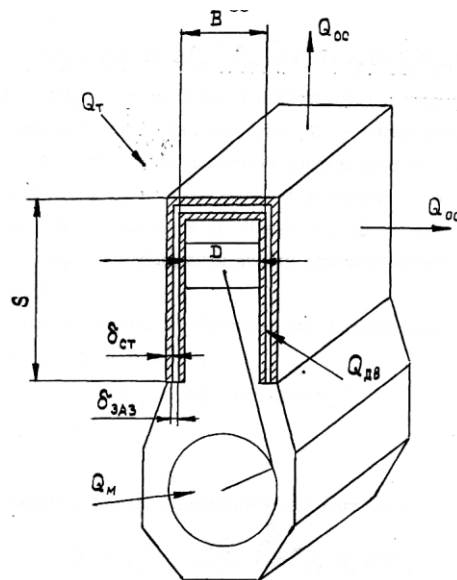


Рисунок 3.3 Принципова конструктивна схема конструкції ДВЗ у області зарубашечного простору

Кількість тепла, необхідне для нагріву масла, кДж:

$$Q_{\text{м}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot k_{\text{м}} \cdot \frac{\Delta T_{\text{н}}}{\Delta T} \int_0^{\tau_{\text{п}}} a_{\text{м}} \cdot g_{\text{е}} \cdot N_{\text{е}} d\tau_{\text{п}},$$

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

де: k_m - коефіцієнт запасу, $k_m > 1$;

ΔT_n - градієнт температур підігріву масла, К;

ΔT - градієнт температур на вході і виході масла з ДВЗ, К;

τ_n - час передпускової роботи масляного насоса, год.

Теплота, необхідна для нагріву пускового палива. кДж:

$$Q_T = c_p \cdot \Delta T_n^T \int_0^{\tau_n} g_e \cdot N_e d\tau_n,$$

де: c_p - теплоємність палива, кДж/(кг*К);

ΔT_n^T - температурний градієнт для нагріву палива, К.

Встановлені таким чином теплові навантаження суднових споживачів енергетичних установок малотоннажних суден дозволяють визначати ефективність теплоакumuлюючих систем у складі ЕУ МТС.

3.3 Визначення ефективності теплоакumuлюючих систем у складі енергетичних установок малотоннажних суден

Загальні показники. Як основний показник ефективності теплоакumuлюючої системи у складі енергетичних установок малотоннажних суден прийнята відносна маса системи, кг/кг(п):

$$\bar{M} = \frac{M}{\Delta B},$$

де: M - маса теплоакumuлюючої системи, кг;

ΔB - абсолютне значення величини економії палива за рахунок застосування теплоакumuлюючої системи, кг(п).

Маса теплоакumuлюючої системи, кг:

$$M = M_{та} + M_o,$$

де: $M_{та}$ - маса теплового акумулятора, який використовується в системі, кг;

M_o - маса допоміжного устаткування, кг.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питома маса теплоакумуючої системи, кг/1кВт.ч):

$$m = \frac{M}{N_e \tau},$$

де: N_e - ефективна потужність двигуна внутрішнього згорання, кВт;

τ - час роботи ДВЗ, год.

Абсолютне значення величини економії палива за рахунок застосування теплоакумуючої системи, кг:

$$\Delta B = \frac{Q \cdot (a_v \cdot \phi_1 + a_m \cdot \phi_2 + a_e \cdot \phi_3 + a_z \cdot \phi_4 + a_{nc} \cdot \phi_5)}{Q_H^p},$$

Тепловий акумулятор. Основним елементом теплоакумуючої системи є тепловий акумулятор. У загальному випадку, вводячи у алгоритм розрахунку теплових акумуляторів ознаки їх конструктивного виконання, можна одержувати моделі ряду теплоакумуючих пристроїв для низькотемпературних ТА, маса яких складе, кг:

$$M = M_{\text{там}} + M_{\text{пк}} + M_{\text{із}} + M_z + M_{\text{тен}},$$

де: $M_{\text{там}}$ - маса теплоакумуючого матеріалу, кг;

$M_{\text{пк}}$ - маса міцного корпусу, кг;

$M_{\text{із}}$ - маса теплоізоляції, кг;

M_z - маса змійовика. кг.

Маса теплоакумуючого матеріалу визначається з залежності від типу застосовуваної теплоакумуючої системи, кількості тепла, типу теплоакумуючого матеріалу, кг:

$$M_{\text{там}} = \frac{3600 \cdot N_e \tau}{(1 - \xi_{\text{nc}}) \cdot c_p \cdot (T_H - T_K)},$$

$$M_{\text{там}} = \left(\frac{a_v \cdot \phi_1}{q_{\text{иам}} \cdot (1 - \xi_{\text{nc}})} + \frac{a_m \cdot \phi_2}{q_{\text{иам}} \cdot (1 - \xi_{\text{nc}})} + \frac{a_e \cdot \phi_3}{q_{\text{иам}} \cdot (1 - \xi_{\text{nc}})} + \frac{a_r \cdot \phi_4}{q_{\text{иам}} \cdot (1 - \xi_{\text{nc}})} + \frac{a_{\text{nc}} \cdot \phi_5}{q_{\text{иам}} \cdot (1 - \xi_{\text{nc}})} \right) \cdot Q_H^p \cdot \int_0^{\tau} g_e \cdot N_e dt,$$

де: $q_{\text{там}}$ - питома енергоємність теплоакумуючого матеріалу, кДж/кг;

$\xi_{\text{ос}}$ - відносні втрати тепла тепловим акумулятором;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

g_e – питома витрата палива при роботі двигуна внутрішнього згоряння, кг/(кВт*год).

Відносні втрати тепла тепловим акумулятором за період автономності:

$$\xi_{nc}^i = \frac{\varepsilon_k \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{ц}} \cdot \lambda_{13}}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \int_0^{\tau_0} \Delta T d\tau_0 + \varepsilon_k \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{13}}{\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}} \int_0^{\tau_0} \Delta T d\tau_0}{Q_H^p \int_0^{\tau} \eta_{\text{ак}} g_e N_e d\tau},$$

Довжина циліндрової частини теплового акумулятора, м:

$$L_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot \left(V_{\text{там}} + V_3 - \frac{\pi \cdot d_{\text{лк}}^3}{6} \right)}{\pi \cdot d_{\text{лк}}^2},$$

де: $V_{\text{там}}$ – об'єм теплоакумуючого матеріалу, м³;

V_3 – об'єм, який займає змійовик, м³;

$d_{\text{лк}}$ - внутрішній діаметр легкого корпусу, м.

Об'єм, займаний теплоакумуючим матеріалом, м³:

$$V_{\text{там}} = \frac{M_{\text{там}}}{\rho_{\text{ж}}},$$

де: $\rho_{\text{ж}}$ – щільність теплоакумуючого матеріалу, кг/м³.

Маса змійовика, кг:

$$M_3 = \pi \cdot k_2 \cdot L_{\text{ц}} \cdot \frac{d_{\text{лк}}^2}{d_{\text{лк}}} \cdot t_{\text{тр}} \cdot \rho_{\text{тр}},$$

де: $t_{\text{тр}}$ - товщина трубки змійовика, м;

$\rho_{\text{тр}}$ - щільність матеріалу трубки змійовика, кг/м³.

3.4 Оцінка впливу основних параметрів теплоакумуючих систем на їх ефективність

Одним з основних елементів теплоакумуючих систем, що в значній мірі впливає на їх ефективність, являється матеріал, прийнятий в якості

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплоакумуючого.

Виконаний аналіз теплофізичних характеристик теплоакумуючих матеріалів показав, що для даних температурних інтервалів, в яких можливо функціонування теплоакумуючих систем, (таблиця 3.1) найбільш переважним теплоакумуючим матеріалом являється вода та масло.

Дані вибору типу теплоакумуючого матеріалу Таблиця 3.1

№	Теплоакумуючі речовина	Температура кипіння, К	Теплота плавлення, кДж/кг
1	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	305	241
2	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	307	267
3	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	310	174
4	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	314	209
5	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$	320	214
6	Na	371	115
7	H_2O	373*	420**
8	Змащувальне мастило ДВЗ	363*	180**

* - допустима температура;

** - теплоємнісна теплота.

На рисунку 3.4 приведені результати розрахунку основних характеристик системи акумуляції тепла масла ДВЗ, що поряд з із проведеною перевіркою адекватності моделі свідчить про її працездатність.

Даний теплоакумуючий матеріал володіє порівняно високою питомою щільністю акумуляції енергії, достатньо високими теплофізичними властивостями, мастило може безпосередньо бути робочим тілом в циклі ДВЗ і теплоакумуючим матеріалом. Ця обставина суттєво спрощує конструкцію теплоакумуючої системи і її експлуатацію у складі ЕУ МТС.

Розроблена математична модель визначення ефективності теплоакумуючих систем дозволила провести попередню оцінку ступеня впливу основних параметрів систем на їх ефективність.

Для прийнятих конструктивних вирішень теплового акумулятора теплоакумуючої системи і заданих значень постійних величин (потужність дизеля, час роботи ДВЗ, час автономності системи і ін.) проводився розрахунок

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективності ТАС (рисунок 3.5) складі ЕУ МТС залежно від певного параметра, абсолютні значення якого приймалися в очікуваному діапазоні величин.

За результатами розрахунку у якості оптимізуємого параметру для теплоакumuлюючих систем у складі суднової енергетичної установки прийнятий діаметр теплового акумулятора.

Наявність оптимальних значень відносної маси пояснюється співвідношенням маси теплового акумулятора і величиною теплових втрат, що зрештою позначається на величину абсолютної економії палива.

Відносно низький вплив товщини теплоізоляції на ефективність системи пояснюється порівняно високими характеристиками тепло ізолюючого матеріалу.

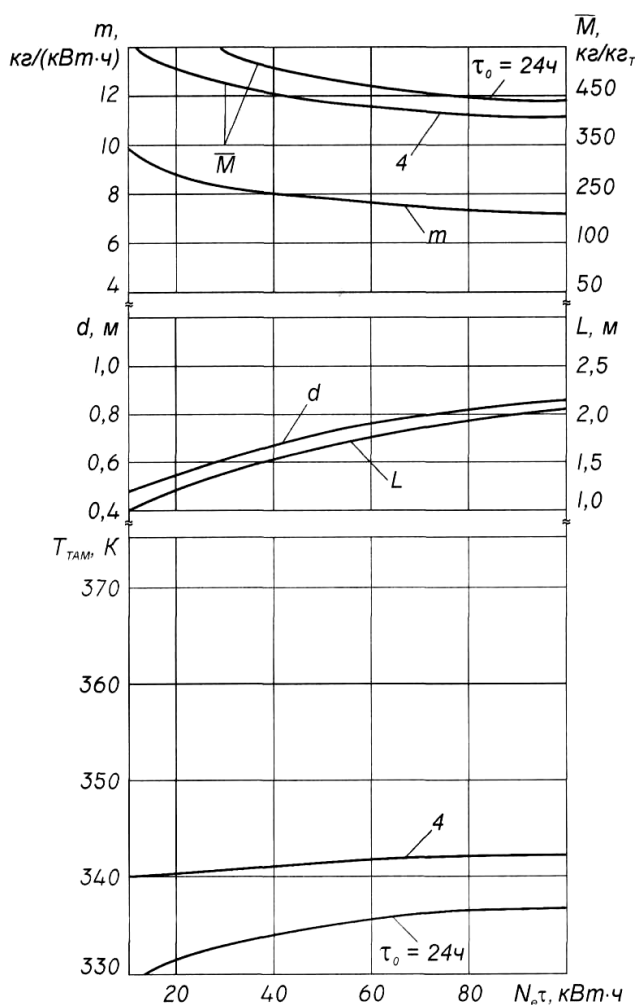


Рисунок 3.4 Основні характеристики системи акумулювання Q_m

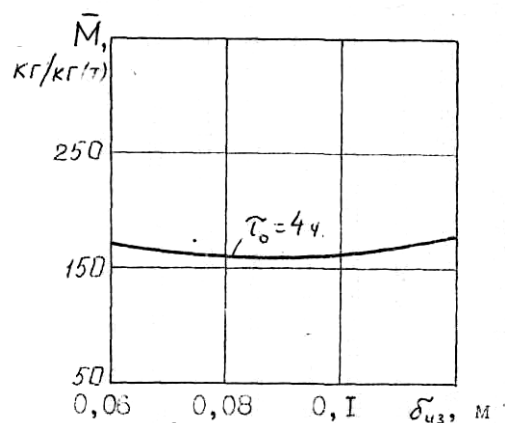
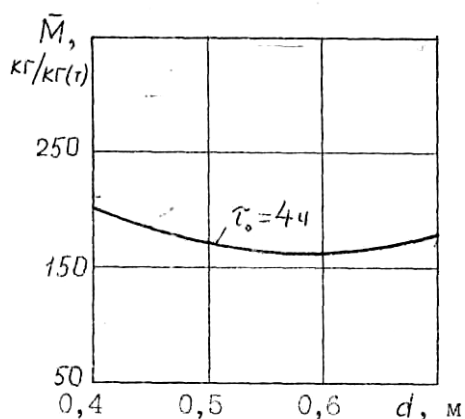


Рисунок 3.5 Вплив параметрів на ефективність ТАС

3.5 Вибір параметрів теплоакumuлюючої системи

3.5.1 Вихідні положення

Вибір параметрів теплоакumuлюючої системи енергетичної установки малотоннажного судна здійснюється на основі рішення, які зводяться до визначення значень параметрів системи, що забезпечує їй мінімальну відносну масу.

У відповідності з розробленою математичною моделлю значення відносної маси теплоакumuлюючої системи являються функцією постійних і оптимізуючи параметрів в якості яких приймалися:

$$\bar{M} = f(N_e, \tau, \tau_0, d, \lambda_{i3}, g_e, T_n, T_{nc}, t_{nk}, \rho_{i3}, \rho_{nk}, \rho_{там}, a_g, a_m, a_e, a_c, a_{nc}, \phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5),$$

Значення величин приймалися постійними для усіх варіантів розрахунку і відповідно дорівнювали: $g_e=0.230$ кг/(кВт*год); $T_{nc}=273$ К; $t_{nk}=0.0004$ м; $\rho_{i3}=150$ кг/м²; $\rho_{nk}=7800$ кг/м³; $\rho_{там}=1000$ кг/м³; $\phi_1=\phi_2=\phi_3=\phi_4=\phi_5=0.9$.

Проведена оцінка впливу основних параметрів теплоакumuлюючих систем дозволила в якості оптимізуючи параметрів прийняти діаметр теплового

акумулятора, значення діаметрів теплового акумулятора приймалися в діапазоні $d=0.2...1$ м.

Прийняті обмеження, пов'язані з визначенням геометричних характеристик теплового акумулятора, не дозволяли визначати значення параметрів теплоакumuлюючих систем при $L/d < 1$.

З урахуванням відомих досліджень, час автономності системи приймалося $\tau_0=4$ год.

Значення постійних величин, що входять в приведені основні залежності (див. розд.2) приймалися відповідно до рекомендованих .

Отримані в результаті розрахунків значення основних параметрів теплоакumuлюючих систем відображалися графічно і піддавалися аналізу.

3.5.2 Теплоакumuлююча система, що використовує тепло, яке відводиться маслом

При визначенні основних показників теплоакumuлюючої системи, що використовує тепло, що відводиться масляною системою двигуна, максимальна температура масла $T_H=347$ К, значення відносної величини складової теплового балансу двигуна $a_m = 0,04$.

На рисунку 3.2 приведені залежності основних показників теплоакumuлюючої системи, що використовує для цілей акумуляції тепло, що відводиться маслом. Відповідні показники даної теплоакumuлюючої системи складуть: відносна маса системи $M = 413...699$ кг/кг(т); величина питомої маси, відповідно, змінюється в межах $10...7,32$ кг/(кВт*год). Габаритні розміри теплового акумулятора: діаметр - $0,49...0,85$ м; довжина - $1,03...2,06$ м. Температура теплоакumuлюючого матеріалу лежить в межах $330...347$ К.

Абсолютне значення економії палива при одноразовому використанні даної теплоакumuлюючої системи $\Delta B = 0,144...1,77$ кг.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Опис конструкції теплоакumuлюючої системи

Дослідження теплоакumuлюючої системи було направлене на визначення значень основних характеристик теплоакumuлюючої системи. Реалізація поставлених завдань дозволила розробити теплоакumuлюючі системи.

До складу теплоакumuлюючої системи входять: тепловий акумулятор і арматура, що служить для підключення і функціонування ТА . Основним елементом теплоакumuлюючої системи є тепловий акумулятор.

Тепловий акумулятор складається з тепло ізолюваної масляної цистерни.

На зовнішній поверхні корпусу розташовані один підводящий і один відвідний патрубків, призначені для заправки теплового акумулятора теплоакumuлюючим матеріалом і роботи акумулятора в режимі прямого нагріву.

В якості теплоізолюючого матеріалу, використані мати теплоізоляційні і звукопоглинальні (РСТ УРСР 1981-87). Марка теплоізоляційного матеріалу АТМ-10. Розміри тканини: довжина -2200 мм, ширина - 2000 мм, товщина - 20 мм марка використовуваної склотканини КТ-II. Теплоізоляція зовнішнього корпусу виконана шляхом виготовлення, згідно наявним габаритним розмірам, з необхідними в ньому отворами для входних і вихідних штуцерів.

Основні характеристики теплового акумулятора приведені в таблиці 3.1.

Основні параметри ТАС

Таблиця 3.2

Параметри	Розмірність	Числове значення
Потужність ДВЗ	кВт	170
Час роботи ДВЗ	год	0,6
Автономність ТАС	год	4
Економія пального	кг	1,5
Маса системи	кг	450
Ширина ТА	м	0,5
Довжина ТА	м	0,6
Висота ТА	м	1
Температура ТАМ	К	363

3.7 Розрахунок економічного ефекту

Розрахунки ведуться в табличній формі, результати яких зводимо до таблиці 3.3, 3.4, 3.5.

Таблиця 3.3 Умова завдання

1	Потужність дизеля	N_e	кВт	170
2	Кількість годин роботи у холодний період	$T_{п}$	год	1200
3	Кількість пусків за добу	i_d		1
4	Кількість пусків у холодний період року	$i_{п}$		150
5	Годинна витрата дизельного палива	B_r	кг/год	37,88
6	Економія палива	ΔB	кг	1,5
7	Кількість мастила, яке добавили до цистерни	K_m	кг	150
8	Ціна мастила	$Ц_m$	грн./кг	15
9	Ціна дизельного палива	$Ц_{п}$	грн./кг	3,4
10	Ресурс роботи до переборки	$T_m, \text{ год}$	год	3600
11	Ізнос деталей при холодному пуску	$T_{із}$	год	6
12	Вартість оренди судна *	$B_{ор.}$	грн./год	384
13	Чистий прибуток від здачі в оренду судна *	$П_{ор.} = B_{ор.} \cdot 20\%$	грн./год	76,8

* ПО даним Миколаївського Морського Торгового Порту на 28.01.2006 р.

Таблиця 3.4 Розрахунок основних витрат

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	Кількість дизельного палива використаного за холодний період року	$K_{дп} = T_{п} \cdot B_{г}$	кг	45456
2	Витрати на дизельне паливо	$B_{дп} = K_{дп} \cdot Ц_{п}$	грн.	154550,4
3	Витрати на мастило	$B_{м} = K_{м} \cdot Ц_{м}$	грн.	2250
4	Кількість годин заощадження роботи двигуна	$T_{з} = T_{із} \cdot i_{п}$	год	900
5	Собівартість ТАС та її монтажу	$B_{ТАС}$	грн./кг	3 000

Таблиця 3.5 Економічний ефект від впровадження ТАС

1	Економія пального	$B_{ек} = \Delta B \cdot Ц_{п}$	грн.	765
2	Економія пального в період оренди судна	$B_{ек.ор.} = T_{з}/24 \cdot \Delta B \cdot Ц_{п}$	грн.	191,25
3	Прибуток від оренди судна	$П_{ор.} = T_{з} \cdot П_{ор.}$	грн.	69120
4	Сумарний прибуток від впровадження ТАС	$П_{см.} = B_{ек} + B_{ек.ор.} + П_{ор.}$	грн.	70076,25
5	Економічний ефект	$E = П_{см.} - B_{ТАС} - B_{м}$	грн.	64 826
6	Термін окупності витрат пов'язаних з впровадженням ТАС	$T_{ок.} = (B_{ТАС} + B_{м}) / (П_{см.} / T_{з})$	год	67

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Основні положення

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, забезпечуючи безпеку здоров'я, працездатність людини в процесі праці. Повністю безпечних та шкідливих підприємств немає. Задача охорони праці – звести до мінімуму ймовірність ураження або захворювання працюючого з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці.

Дисципліна «Охорона праці» – комплексна соціально-технічна дисципліна. До неї належить виробнича санітарія, техніка безпеки, пожежна та вибухова безпека, законодавство по охороні праці. Безпека людини на виробництві залежить від багатьох факторів. В немалій ступені вона визначається відповідальністю та кваліфікацією робітників управління. Ось чому молоді фахівці, приходячи на виробництво, повинні бути ознайомлені з основами безпеки праці, виробничої санітарної та пожежної безпеки.

При роботі двигуна внутрішнього згоряння, а також різних систем і механізмів, що обслуговують двигуни, виникає ряд виробничих факторів небезпечних для життя і здоров'я людей. Ці фактори регламентовані ГОСТ 12.0.003 -74.

Вентиляція

Безпечність роботи плавскладу на судні багато в чому залежить від своєчасного виведення з приміщення легко тепла, що виділяється, пилу, відпрацьованих газів.

Відповідно до СНІПа 2498-81, температура повітря у машинному відділенні (МВ) повинна знаходитися у межах 19-25°C. Відносна вологість повітря 40÷60 % .

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

з метою забезпечення подальших умов на судні налаштована система пожежно-вентильної вентиляції, що забезпечує 30÷50 кратний облік повітря при швидкості руху вентиляційного повітря 2÷4 м/с. повітря, що подається по МВ у зимовий час підігрівається, можлива різниця температур повітря, що подається до приміщення з температурою не більше, ніж 5°C у даному приміщенні.

З метою ліквідація проникнення у повітря шкідливих речовин, виконується герметизація обладнання, компресорів, насосів, газовипускних трактів.

Неправильне обладнання робочих місць, погане освітлення, знижує безпечність робочих та екіпажу судна. Освітлення на судні поділяється на: основне, аварійне, переносне.

При основному освітленні застосовується напруга 220 В.

При малому аварійному, напруга 127 В. Згідно до норм допускається мінімальне освітлення у МВ 50 лк, а у ЦПУ 75 лк. Аварійне освітлення повинно створювати освітлення не менш ніж 50% основного. Система загального освітлення доцільно здійснювати двома засобами: розподілом рівномірного світильниками, що створюють освітлення переважно у горизонтальній площині, та локалізовано розміщеними світильниками. Добре освітлення робочих місць сприяє підтриманню на високому рівні працездатності людини, тому, що виключає втому органів зору від частої переадаптації.

Пожежна небезпека

Можливі причини пожеж у МВ судна:

- несправність проходів випускних колекторів;
- невірне зберігання паливно-змащувальних матеріалів;
- витік палива та мастила;
- несправність електропроводки.

Засоби профілактики та активного пожежного захисту у МВ судна:

- легкозайmistі матеріали, конструкцій покривають вогнестійкими фарбами;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- надійно ізолюють електропроводку;
- заборонено користування відкритого вогнища у МВ;
- періодична перевірка електропроводки;
- оснащення приміщень системами ліквідації пожеж (водогасіння, парогасіння, піногасіння вуглекислого газу);
- установка у МВ протипожежної сигналізації, вміщує в систему знайдення пожежі, сигнального освітлення та попереджувальну сигналізацію.

Аварійні витoki

Експлуатація двигуна пов'язана з широким застосуванням паливно-мастильних речовин, лакофарбних покриттів, паливних та спалахо небезпечних газів. У зв'язку з цим необхідно передбачити конструктивні та організаційні міри захисту від пожеж та вибухів у МВ.

Необхідно слідкувати за відсутністю підтікання палива й мастила на двигуні та трубопроводах, підтікання повинні бути локалізовані. Паливні трубопроводи не повинні бути прокладені над двигуном. Для попередження вибухів у картері повинні бути установленні запобіжні клапани.

Необхідно передбачити наявність поблизу двигуна пожежегасника. Безпечність устаткування працюючих під тиском. На судні під тиском знаходяться повітря, водяний пар які зберігаються у сосудах та трубопроводах. Аварії таких судів можуть викликати зруйнування, вибух, травмування членів екіпажу. Причиною аварій можуть бути, відсутність чи несправність запобіжних клапанів, дефекти при ізолюванні, монтажі чи ремонтуванні, знос стінок труб.

Згідно до вимог Регістру, суди, що працюють під тиском, повинні відповідати наступним вимогам:

- корпусу судів повинні мати міцні опори для кріплення до судових фундаментів;
- кожний суд повинен мати пристрій продування, запобіжний клапан, лази для огляду внутрішньої поверхні (якщо дозволять розміри); зварні шви повинні бути тільки стикові;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тиск при випробуванні на міцність судів:

$P_{\text{випр}} = 1,5 P_{\text{праці}}$, при $P_{\text{праці}} \leq 0,5 \text{ МПа}$

$P_{\text{випр}} = 1,25 P_{\text{праці}}$, при $P_{\text{праці}} > 0,5 \text{ МПа}$

Перед експлуатацією судів вони повинні бути перевірені інструктором Держнадзору чи Регістру.

Шум та вібрація

Ці шкідливі фактори негативно впливають на організм людини, псує його нервову систему, підвищуючи дратівливість.

У МВ основним джерелом шуму є механізм та агрегати, що мають частини, що рухаються, які викликають вібрацію й аеродинамічні збурювання. До них відноситься: головний двигун, дизель – генератор, система вентиляції та інші допоміжні механізми. У якості допустимих величин рівня шуму у МВ судна встановлені рівні широко полюсного шуму на робочих місцях по ДСТУ 12.1.003 – 96.

Основні проміжні параметри широко полюсного шуму наведені у таблиці 4.1.

Основні проміжні параметри широко полюсного шуму Таблиця 4.1

Приміщення	Рівні звукового тиску (ДБ) у активних порожніх середньогеоцентричних частках, Гц								Рівень шуму дБ А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Машинне відділення з постійною вахтою	102	95	89	84	80	76	73	70	85
Періодично обслуговуюче	110	104	98	94	90	85	83	80	95
З безвахтним обслуговуванням	115	109	103	99	95	91	88	85	100
з ЦПУ ЕУ	88	81	75	69	65	62	60	58	70
Виробничі приміщення розташовані в МВ	102	95	89	84	80	76	73	70	85
Виробничі приміщення розташовані не в МВ	88	81	75	69	65	62	60	58	70

Джерелом шуму може бути будь-яке тіло, що коливається, виведене з рівноваги зовнішньою силою. Головним джерелом вібрації на судні є: гребний гвинт, двигун, валопроводи, та допоміжні механізми.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У екіпажів суден та пасажирів тривало підлягаючим дії вібрації, можуть виникнути різні патології: підвищена втома, вібраційна хвороба. Основним нормативним документом, що установлює граничнодопустимі величини вібрації на місцях існування екіпажу та пасажирів на судах є СНП 1103 – 73

Заходи щодо зниження шуму та вібрації.

Шум та вібрація двигунів внутрішнього згоряння впливають на здоров'я працюючих у МВ зменшує продуктивність праці, притупляється увага. Двигуни відносяться до найбільш гучних механізмів, у більшості випадків є основними джерелами шуму та вібрації.

Проблемою шуму ДВЗ є усунення чи максимальне зменшення шкідливого впливу повітряного шуму ДВЗ. Найбільш ефективним і у той же час, найбільш складним є методи боротьби із шумом самого двигуна. Суть методу у спеціальній організації робочого місця і конструктивному оформленні двигуна і його вузлів, у поліпшенні технології виготовлення і обробки деталей двигуна (підвищена стійкість нарізання зубів шестерні, загальне доведення і припинення). Одним з найбільш розповсюджених методів є ізоляція звуку і вібрації. Ізоляцією повітряного шуму виконують за допомогою звукоізолюючих кожухів і перегородок, а також за допомогою звукоізоляції МВ.

Ефективними засобами шуму та вібрації є установлення віброгасників у місцях підвищеної вібрації: амортизатори, застосування еластичних муфт валопроводів. Є широкі можливості амортизування судових механізмів з допомогою серійно випускних гумово – металевих амортизаторів по навантаженню від 10 до 2000 кг.

Дуже ефективним і важливим способом зменшення шкідливого впливу шуму на людський організм є використання індивідуальних засобів захисту від шуму: пробок і навушників, гермошлемів і касок у сукупності з пробками, звукоізолюючих кабін з яких проводиться управління двигуном. Засоби індивідуального захисту в залежності від їхньої конструкції і частоти шуму дозволяє зменшити сприйнятий людиною звук на 12-2- ДБ.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей розрахунок виконаний для визначення кількості світильників, встановлених в приміщенні. Для штучного освітлення приміщень використовують газорозрядні лампи, найбільш сприятливі з фізіологічної точки зору та економії електроенергії. Якщо їх використання не можливе, або не екологічне, допускається використання ламп розжарювання.

Розрахунок виконаний методом використання світлового потоку. Кількість світильників визначається по формулі

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{F \cdot z},$$

де: E – норма освітленості, E = 150 лк;

K – коефіцієнт запасу, K = 1,5;

S – освітлювальна площа, м².

$$S = a \cdot b$$

a – довжина МВ судна, a = 14.58 м;

b – ширина МВ судна, b = 4.21 м.

$$S = 14.58 \cdot 4.21 = 61.38 \text{ м}^2$$

Z – коефіцієнт мінімальної освітленості, Z = 1,15 ;

F – сумарний світловий потік ламп ЛД – 80, F = 4070лм;

z – коефіцієнт використання світлового потоку, z = 0,36

$$N = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 61.38 \cdot 1,15}{4070 \cdot 0,36} = 10.84$$

Приймаємо в МВ судна 11 світильників.

Проблема захисту навколишнього середовища від забруднень і відходів, внесених промисловими підприємствами і транспортом, з кожним роком здобуває все більшого значення. Рішення цієї проблеми носить комплексний характер і жоден із джерел забруднення не повинен бути залишений без уваги.

Судна і їх енергетичні установки є значними джерелами забруднення навколишнього середовища. У зв'язку зі збільшенням чисельності флоту його вплив на навколишнє середовище з кожним роком зростає.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерелами забруднення на судні є гази двигунів внутрішнього згоряння, що відробили, парогенератори, скидання палива й масла, технічної води і багато чого іншого.

Задача збереження навколишнього середовища полягає в тому щоб, не перевищувати допустимий рівень забруднення. Ця проблема може вирішитися лише двома шляхами:

- створення систем працюючих під замкнутим циклом, які дозволяють утилізацію;
- очищення і зниження токсичних відходів, що постійно надходять у біосферу.

Охорона моря

При роботі СЕУ викидають в атмосферу вихлопні гази, а в морське середовище - забортну воду палива, недосконалість систем судових і енергетичних установок, конструкцій устаткування, порушень правил технічного обслуговування, а іноді в результаті аварії в машинному відділенні або загибелі судна виникає теплове, шумове, вібраційне і радіаційне забруднення навколишнього середовища.

Джерела забруднення біосфери при експлуатації СЕУ. Якісні і кількісні показники забруднення біосфери визначаються типом і потужністю СЕУ, сортом палива і т.д.

Основні джерела забруднення біосфери при експлуатації СЕУ розглянуті нижче.

При роботі СЕУ в атмосферу викидаються випускні гази головних та допоміжних двигунів і котлів, токсичність яких визначається сортом палива і умовами його згоряння. Так, застосування важких сірчистих палив сприяє зменшенню експлуатаційних витрат на паливо, але при цьому підвищується забруднення ОС сірчистим і сірчанам ангідридом, збільшуються знос і число відмов СЕУ.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті досліджень в випускних газах було знайдено близько 200 різних складових, які гігієністами діляться на сім груп .

Випускні гази сприяють задимленню атмосфери, чорний колір їм додають сажа і зола. Коптіння, окрім забруднення біосфери, а так само погіршує видимість. За допомогою штучних супутників Землі були знайдені стійкі димові утворення над основними курсами руху судів в Атлантиці, кількість яких щодоби досягає 2000 одиниць.

При експлуатації СЕУ вуглеводні потрапляють в атмосферу у складі випускних газів або в результаті випаровування бункерного палива. Оскільки велика частина вуглеводнів разом з опадами потрапляє в морське середовище, то це джерело забруднень слід вважати найпоширенішим і небезпечним.

В результаті несправностей і аварій установок систем кондиціонування повітря і рефрижерацій мають місце витoki хладагентів в атмосферу. Хладагенти є галогенсодержащие вуглеводні (галони) і по прийнятій у вітчизняній промисловості термінології називаються хладагентами. Вони застосовуються також в суднових системах пожежегасіння (порошкові вогнегасні апарати місцевого гасіння, СИГ, системи СЖБ).

Основною причиною забруднення морського середовища в нормальних умовах експлуатації є скидання нафтовмістних вод. При експлуатації СЕУ споживають паливо, масло, прісну і забортну воду. Ці робочі речовини в суміші утворюють НСВ, які стікають в трюми машинних і машинно-котельних відділень, де накопичуються в льялах і збірних колодязях (льяльні води).

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) широко застосовуються в усіх галузях народного господарства і в майбутньому вони залишаться основним джерелом енергії для різних енергетичних установок ще досить довгий час. Тому перед двигунобудуванням стоїть задача вдосконалення ДВ, пристосування їх конструкції до нових умов використання.

Двигун внутрішнього згоряння – циклічний тепловий двигун, що як відомо, є одним з його недоліків. Разом з цим, циклічний принцип здійснення робочого процесу дозволяє реалізовувати високу температуру та тиск газу, завдяки чому ДВЗ є більш економічними енергетичними установками в порівнянні з іншими тепловими двигунами.

Але розвиток конструкції ДВЗ в теперішній час відбувається в умовах інтенсивного виснаження світових запасів нафти і жорстоких вимог до екологічних характеристик двигуна: токсичності, рівня шуму і вібрацій. Це ускладнює вирішення задачі вдосконалення технічних характеристик ДВЗ. Зниження використання палива є можливим напрямком вдосконаленням суднової енергетичної установки.

Одним зі шляхів підвищення ефективності суднових енергетичних установок є використання в їх складі теплоакумуючих комплексів, що є сукупністю елементів енергетичного устаткування судна і теплового акумулятора: енергетичних модулів на основі теплових акумуляторів, теплоакумуючих систем різного цільового призначення

На початку виконання кваліфікаційної роботи було визначено основні задачі дослідження, що полягають в наступному:

– розробки математичної моделі визначення ефективності теплоакумуючої системи у складі енергетичної установки малотоннажного суден, що забезпечують акумуляція і подальше використання основних видів теплових втрат;

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						90
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– визначення параметрів теплових акумуляторів і теплового стану основних елементів суднової енергетичної установки в реальних умовах експлуатації;

– розробки програм визначення параметрів теплоакumuлюючих систем;

– розроблення конструкції теплового акумулятора;

– дослідження рекомендацій по вибору параметрів теплоакumuлюючої системи у складі енергетичної установки малотоннажного судна.

Об'єктом досліджень в даній кваліфікаційній роботі є теплоакumuлюючі системи (ТАС), що можуть бути використані у складі суднових енергетичних установок суден і суднових комплексів різного цільового призначення (підводні човни і апарати, глибоководні водолазні комплекси, малотоннажні судна і ін.).

Загальними науковими проблемами таких систем є відсутність єдиної теорії їх проектування, моделей і методик визначення їх структурного складу, параметрів основних елементів.

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності енергетичних установок, зокрема суднових, за рахунок використання в їх складі високоефективних теплоакumuлюючих систем і пристроїв.

Предметом досліджень є: процеси, які протікають в суднових енергетичних установках і їх елементах, а також в теплоакumuлюючих системах з нестаціонарними параметрами накопичення і використання теплової енергії; існуючі методи і методики розрахунку теплоакumuлюючих систем суднових енергетичних установок.

Особливе місце займають дослідження фізичних процесів (їх параметрів), що мають місце в реальних умовах експлуатації суднових енергетичних установок і істотно впливають на умови проектування теплоакumuлюючих систем.

У реальних суднових умовах існують значні теплові втрати від працюючого енергетичного устаткування, використання яких з метою підвищення ефективності СЗУ можливо шляхом застосування теплоакumuлюючих систем утилізації тепла (ТАС).

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принципові схеми систем акумуляції теплової енергії СЕУ малотоннажних суден, електроенергії перехідних процесів газогенераторів і дизель-генераторів розроблено з урахуванням існуючих вимог по технічній експлуатації суднового енергетичного устаткування (представлено на кресленні).

У відповідності з розробленою математичною моделлю як основний критерій ефективності систем виступала відносна маса ТАС, кг/кг_т.

Вибір параметрів теплоакумуючих систем енергетичних установок малотоннажних суден здійснювався на основі рішення задачі оптимізації, яка зводилася до визначення значень параметрів ТАС, що забезпечують їй мінімальну відносну масу.

Параметри ТАС визначені стосовно СЕУ малотоннажних суден, які використовують в своєму складі високообертові двигуни внутрішнього згорання потужністю 10...500 кВт, з періодом, акумуляція, що забезпечує значення показника $N_{\text{ет}} = 10...100 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Відповідні дослідження дали змогу зробити висновок, що використання основних типів ТАС у складі енергетичних установок малотоннажних суден, дозволяє забезпечити зниження витрат палива на власні потреби СЕУ за один цикл акумуляції на 0,14...4 кг, а застосування комбінованих ТАС дозволяє підвищити в 4...10 разів ефективність використання теплоакумуючих систем.

Виконані теоретичні дослідження показали, що збільшення не розрахункового періоду автономності основних видів теплоакумуючих систем з 4 до 24 годин не призводить до істотного зниження ефективності їх використання у складі СЕУ малотоннажних суден.

У загальному випадку, використання теплоакумуючої системи забезпечило зниження періоду передпускового прогрівання на 2...3 хвилини і дозволило забезпечити економію палива 1,25... 1,5 кг

При виконанні кваліфікаційної роботи було запропоновано включити ТА (тепло акумулятор) у склад масляної системи двигуна малотоннажного судна

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						92
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проекту № 1437 (Буксир) з двигуном 6ЧН 15/18 потужністю 170 КВт для передпускового прогріву двигуна (рисунок 1.12)..

Мета включення: зменшення витрати палива, підвищення екологічних показників, та швидкій вихід двигуна на номінальний режим роботи.

Принципова схема включення ТАС представлена на кресленні.

В роботі наведено опис двигуна 6ЧН 15/18 та виконано розрахунок робочого процесу і динаміки згаданого двигуна, що знайшло відображення на кресленнях.

Економічна ефективність від впровадження в експлуатацію спроектованого двигуна була визначена відповідно методики «Показники якості та економічне обґрунтування прийнятих технічних рішень при проектуванні двигунів внутрішнього згоряння»

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Нестеренко В.В., Лисих А.Ю. Теоретичні передумови застосування альтернативних палив як екологічно безпечних енергоресурсів. //Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 80): матеріали Міжнародної наукової інтернет - конференції, (м. Тернопіль, Україна – м. Ополе, Польща. 19-20 вересня 2023р. – С. 214-216.
2. O. Cherednichenko, M. Tkach, B. Timoshevskiy, V. Havrysh, S. Dotsenko. Improving the efficiency of a gas-fueled ship power plant using a Waste Heat Recovery metal hydride system. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie № 59 (131) – 30.09.2019. – С. 9 – 15.
3. I. Shvets, O. Hrabovenko, S. Dotsenko, V. Nesterenko. «Results of the Experimental Research of the Medium Speed Diesel Engine Work on Soybean Oil». // 24rd International Scientific Conference on Transport Means 2020: – Kaunas, Trakai, Lithuania, 2020. – Pages 671-675.
4. Нестеренко В.В. Фідровська Н.М., Писарцов О.С. Визначення впливу геометричних параметрів канатних блоків на довговічність канату.: - Підйомно-транспортна техніка, Вип. 1(62), 2020, - с. 19-28
5. Фідровська Н.М., Ломакін А.О., Хурсенко С.О., Нестеренко В.В. Напружений стан дротинки канату в процесі згинання на блоці.: - Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, Вип. 92, т.1, 2021, - с.184-187
6. Методичні вказівки до виконання розрахунку робочого процесу, теплового балансу, теоретичної та дійсної індикаторної діаграми газового двигуна з дисципліни «Теорія ДВЗ» // Доценко С.М., Бельський Ф.В., Григоренко В.О.- Первомайськ ПП, 2010.
7. І.О. Григурко, М.Ф. Брендуля, С.М. Доценко Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) «Новий світ – 2000», Львів, 2006. – 576с.

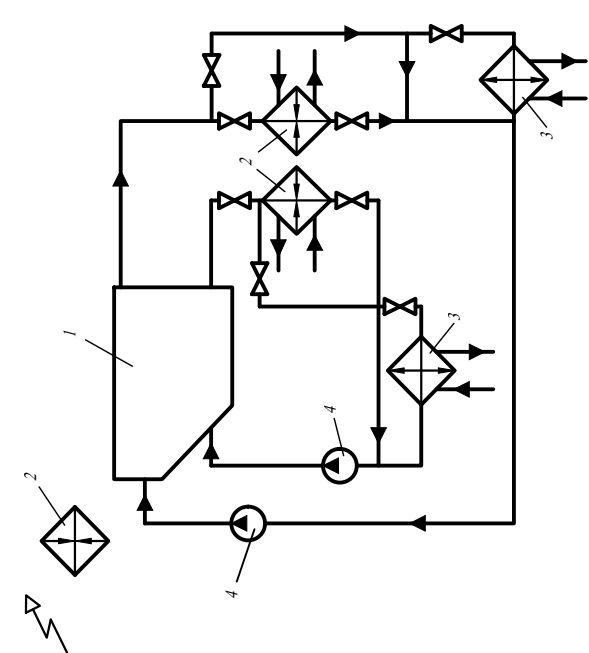
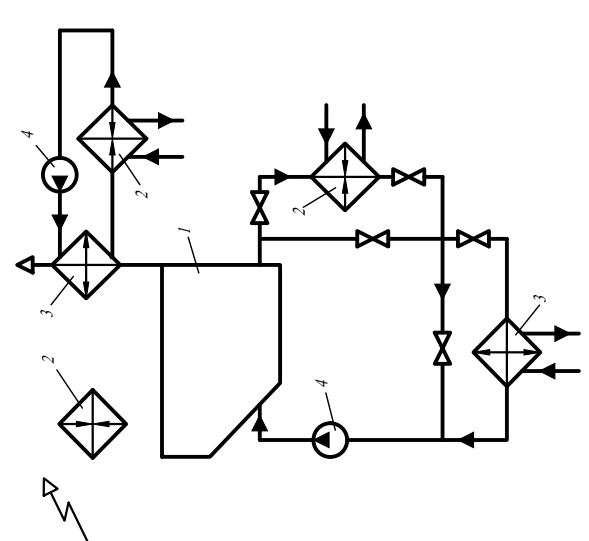
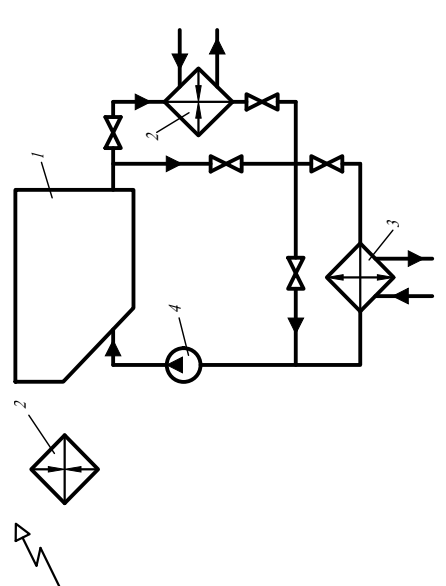
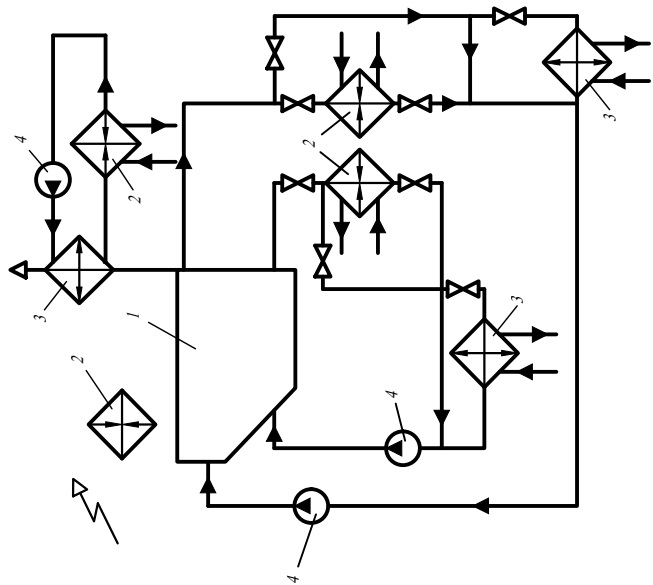
					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
						94
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Григурко І. О., Анастасенко С. М., Доценко С. М. Проектування технологічних процесів в судновому машинобудуванні (Практикум). «Новий світ – 2000», Львів, 2017. – 348с.

9. С.М. Доценко О.І. Грабовенко, І.А. Швець, А.Ю. Лисих [Експериментальні дослідження екологічних параметрів дизельного двигуна при роботі на соєвій олії](#). Збірник наукових праць НУК – Миколаїв: НУК, 2023. – № 2 - 3 (491- 492). – С. 49 – 56.

10. S. Dotsenko, V. Nesterenko, A. Lysykh, O. Hrabovenko, I. Shvets Mathematical modelling of emissions of toxic components of a medium speed diesel engine when operating on soybean oil. 27rd International Scientific Conference on Transport Means 2023 04.10. - 06.10.2023: – Palanga, Lithuania, 2023. – Pages.

					ПННІ НУК 131.61.23.02 ПЗ	Лист
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

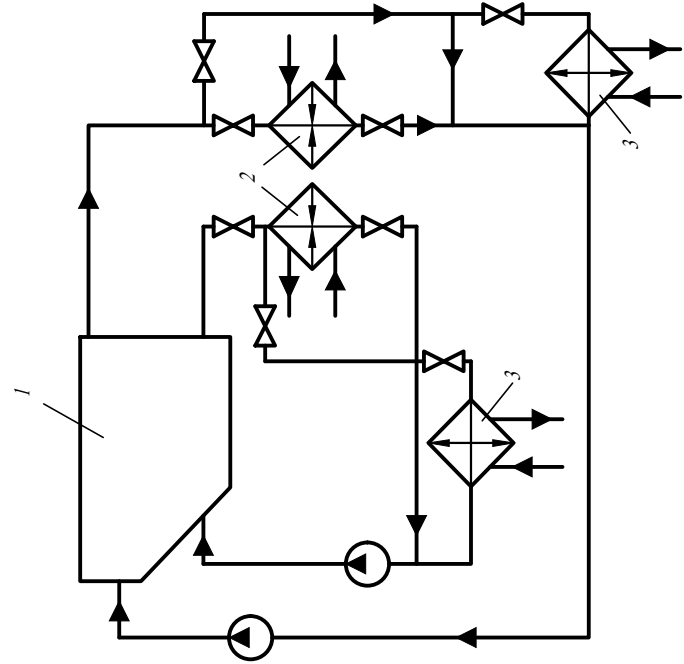
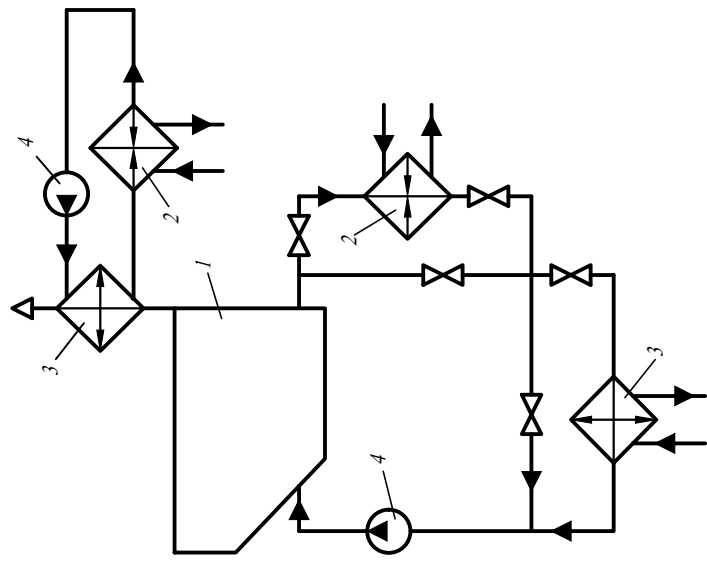
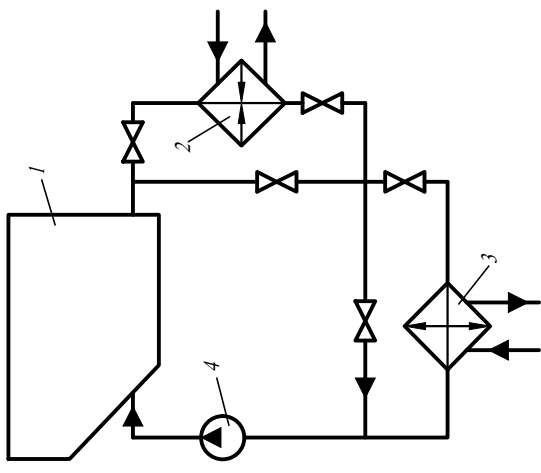
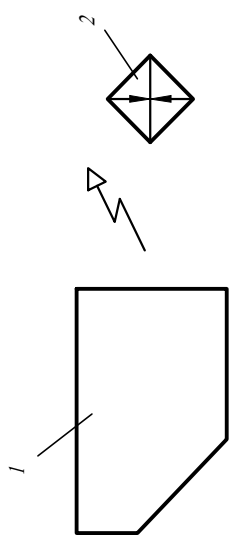


Лист	Наименование	Кол-во	Примечание
1	Впуск	4	
2	Тепловой аккумулятор	12	
3	Теплообменник	6	
4	Насос	6	

Лист		Кол-во		Примечание	
1	Впуск	4			
2	Тепловой аккумулятор	12			
3	Теплообменник	6			
4	Насос	6			

ЛПНЧК 7.090210.16.02.00.СА

Принципиальная схема
аппарата теплообмена



Поз.	Наименование	Кол-во	Примечание
1	Водяной	4	
2	Тепловый аккумулятор	6	
3	Теплообменник	4	
4	Насос	5	

ПННН НКК 1316123.00.00.СА			
Вс.	Дат.	Исполн.	Масштаб
10	10	10	10
Принципиальная схема			
Автоматизация			
Архив			

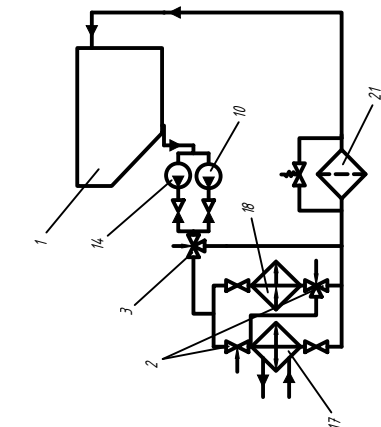


Схема передвухоб'язкового розподілу масла ДВЗ з механічним керуванням і сигналом ТА, заряджачим теплом масла

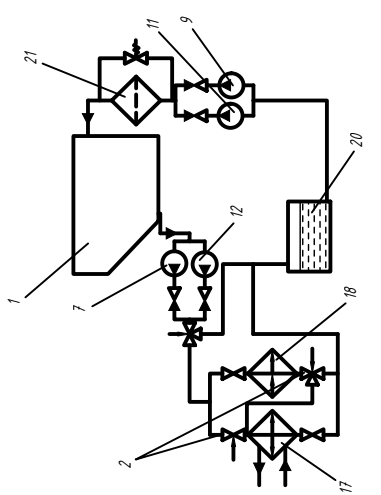


Схема передвухоб'язкового розподілу масла ДВЗ з сумішним керуванням і сигналом ТА, заряджачим теплом від масла

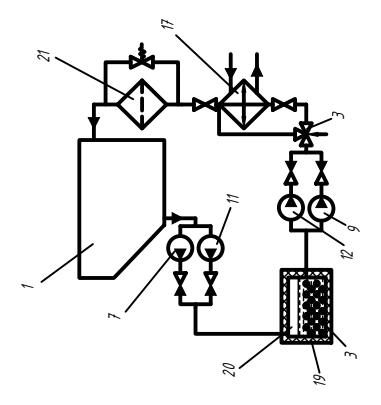


Схема передвухоб'язкового розподілу масла ДВЗ з сумішним керуванням і використанням в якості ТА масла збича

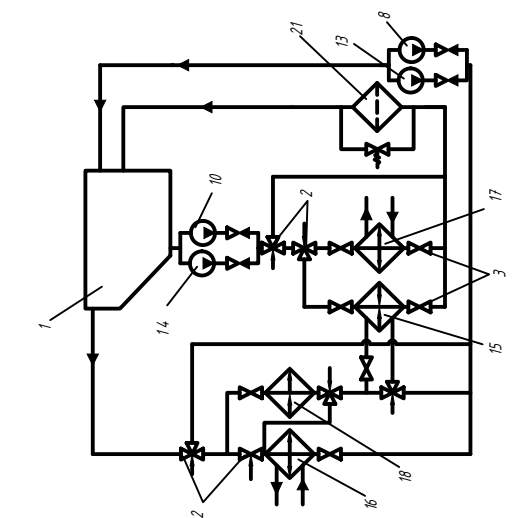


Схема передвухоб'язкового розподілу масла ДВЗ з ТА для розподілу пристої води і масла у водонапісний розвідок

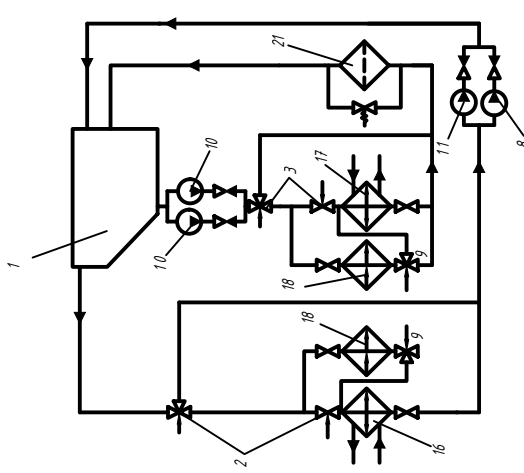


Схема передвухоб'язкового розподілу масла ДВЗ з ТА для нагнітання масла

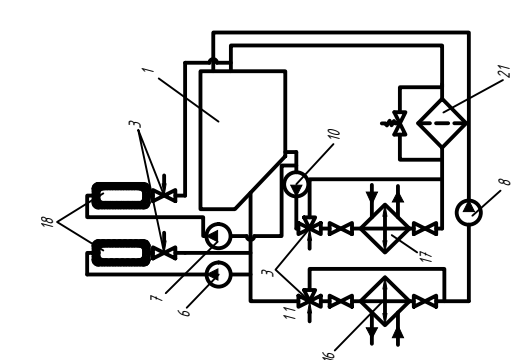
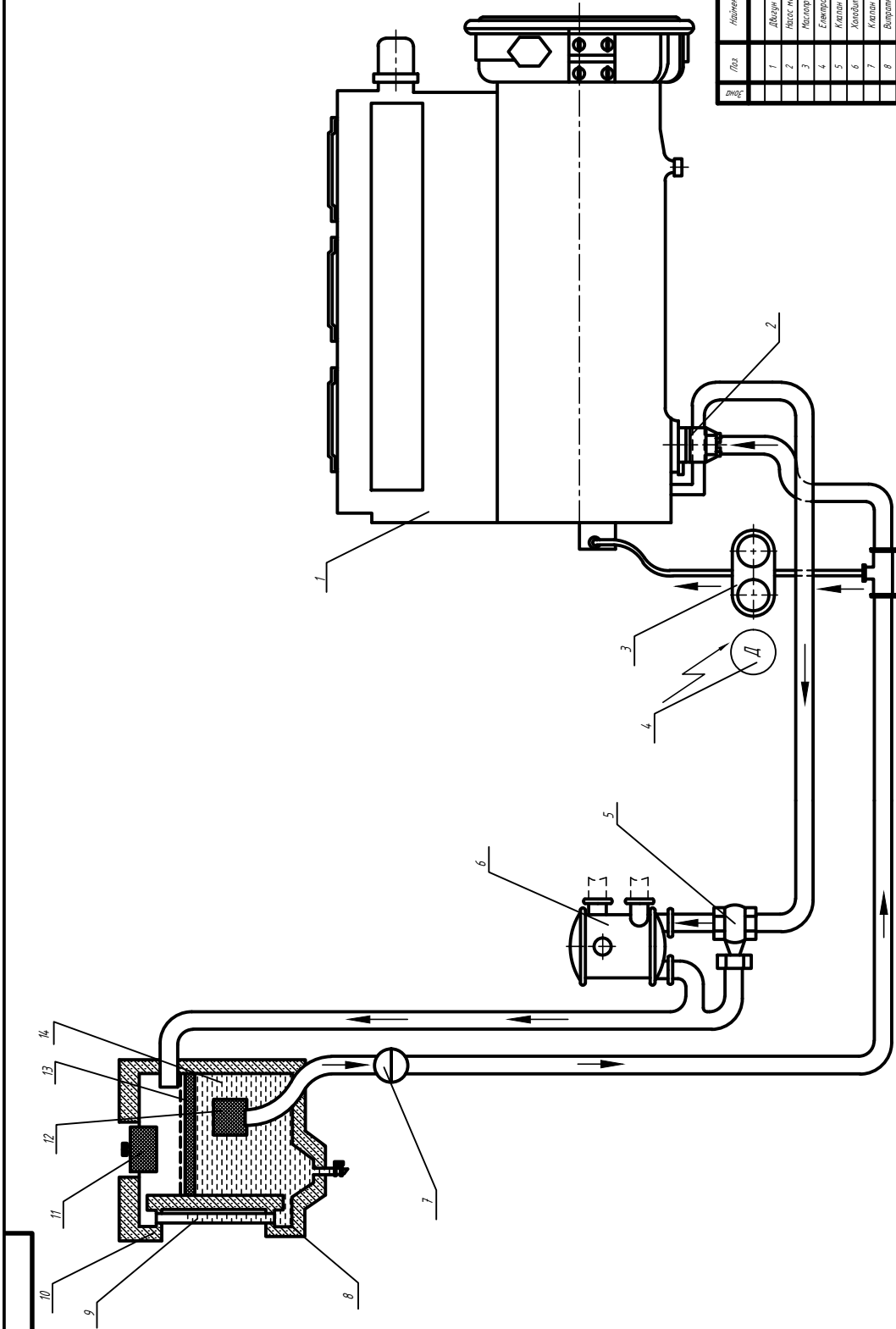


Схема передвухоб'язкового розподілу масла ДВЗ з ТА для зберігання пристої води і масла після зупинки двигуна

ЛНН НЖ 131612302.00СХ									
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування
Відп. за розробку	Відп. за виконання	Відп. за перевірку	Відп. за затвердження	Відп. за впровадження	Відп. за експлуатацію	Відп. за ремонт	Відп. за модернізацію	Відп. за ліквідацію	Відп. за архівування



№	Поз	Наименование	Кол-во	Примечание
1	1	Двигатель	1	
2	2	Насос масляный	1	
3	3	Муфта сцепления	1	
4	4	Электропневматический клапан	1	
5	5	Клапан обратный	1	
6	6	Фильтр масляный	1	
7	7	Клапан запорный	1	
8	8	Вспомогательный масляный бак	1	
9	9	Видеонаблюдение	1	
10	10	Термостат	1	
11	11	Задвижка обратная вода с сеткой	1	
12	12	Фильтр сетчатый	1	
13	13	Пневматический клапан	1	
14	14	Масло	1	

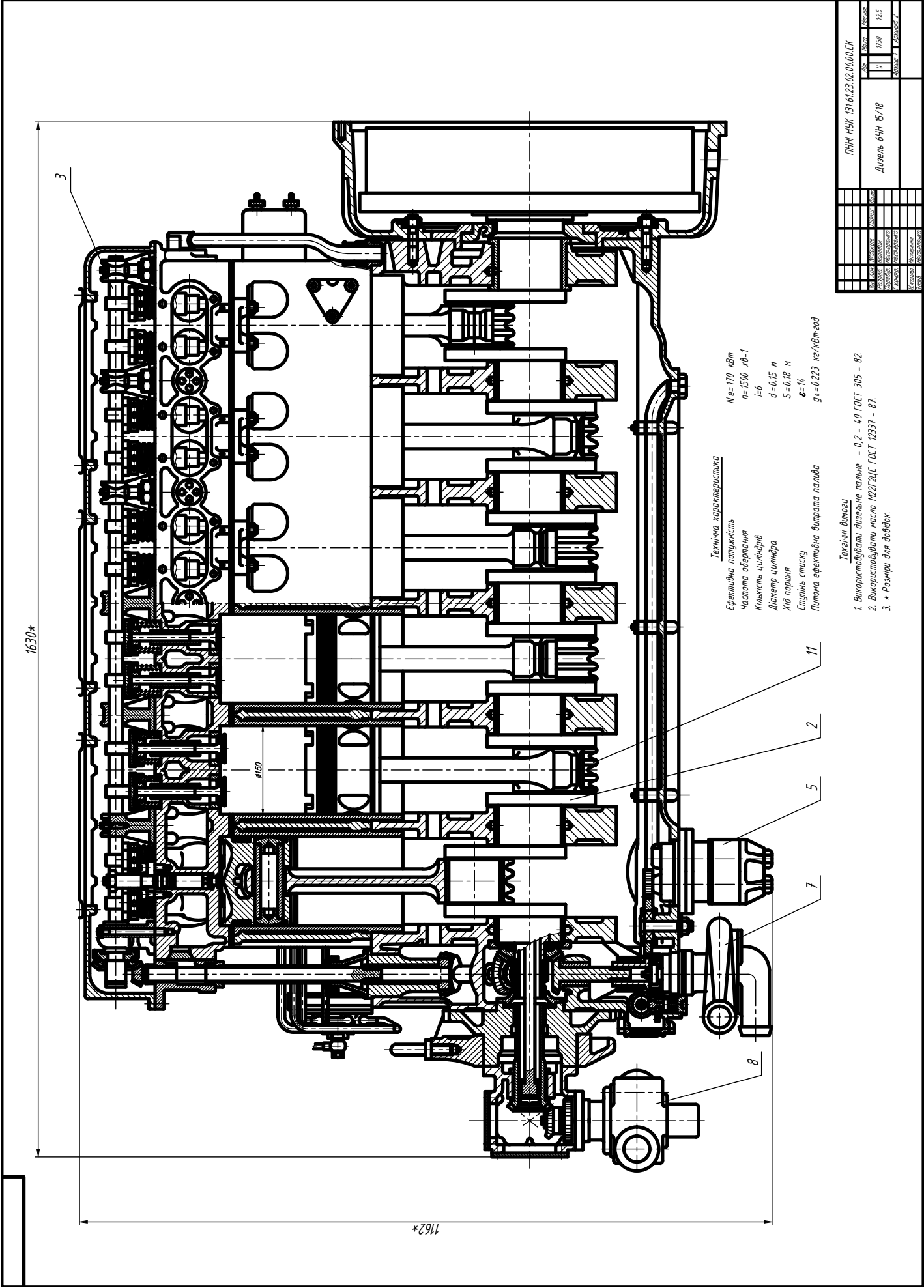
ПНМ НУК 131612302.00.СХ			
№	Дет.	Материал	Масштаб
1	1	Сталь	1:1
2	2	Сталь	1:1
3	3	Сталь	1:1
4	4	Сталь	1:1
5	5	Сталь	1:1
6	6	Сталь	1:1
7	7	Сталь	1:1
8	8	Сталь	1:1
9	9	Сталь	1:1
10	10	Сталь	1:1
11	11	Сталь	1:1
12	12	Сталь	1:1
13	13	Сталь	1:1
14	14	Сталь	1:1

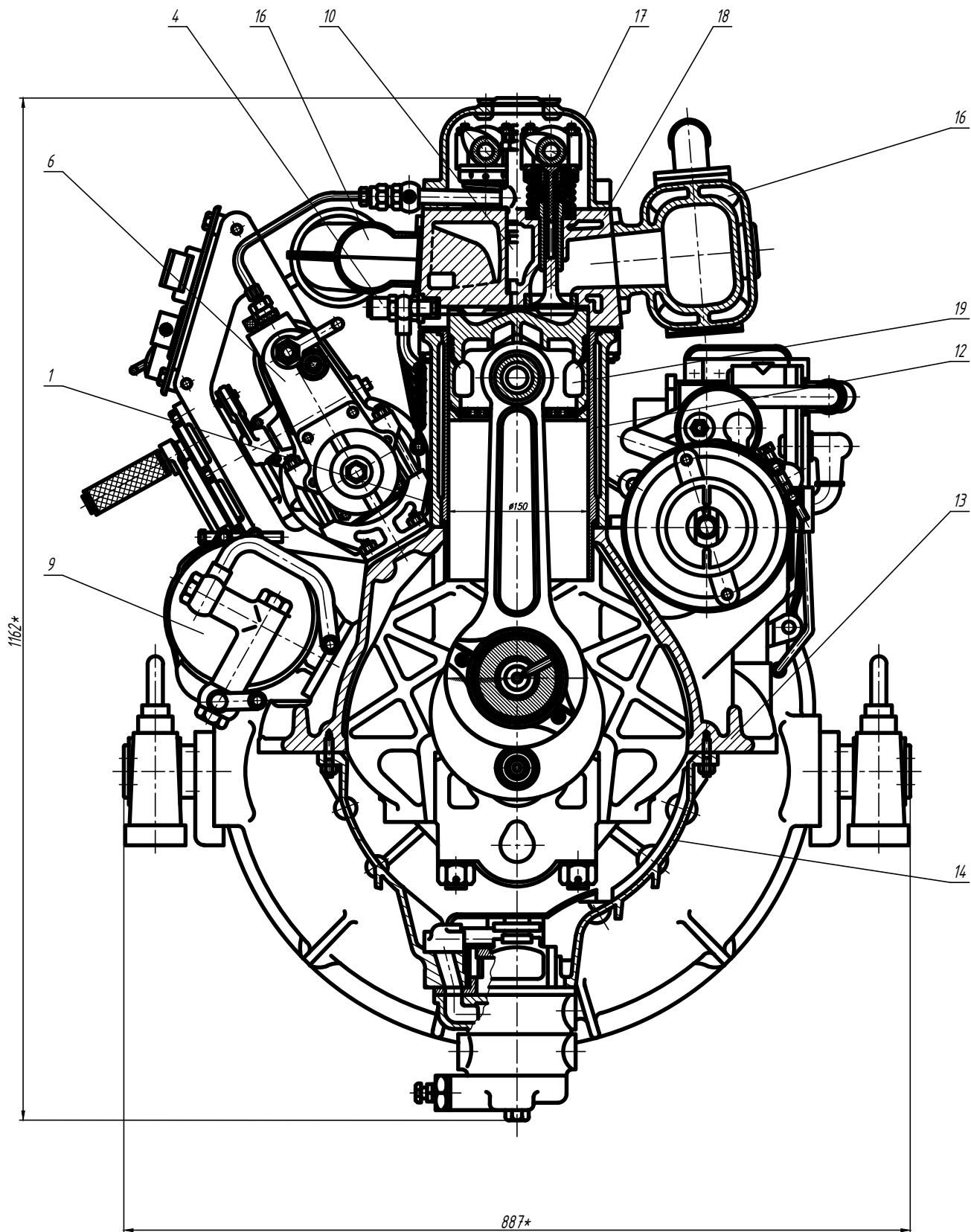
Система гидравлической
привода масла

ПНМ НУК 131612302.00.СХ

Форм.	Зона	Позн.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1				Складальне креслення	2	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Насос масляний	1	
		2		Насос циркуляційний	1	
		3		Помпа забортної води	1	
		4		Кришка циліндра	1	
		5		Клапан пусковий	6	
		6		Паливний насос	1	
		7		Форсунка	6	
				<u>Деталі</u>		
		8		Вал кулачковий	2	
		9		Колінчатий вал	1	
		10		Шатун	6	
		11		Гільза	6	
		12		Блок циліндрів	1	
		13		Картер верхній	1	
		14		Картер нижній	1	
		15		Кришка клапанів	1	
		16		Колектор впускний	1	
		17		Колектор випускний	1	
		18		Фільтр масляний	1	
		19		Поршень	6	
				ПННІ НУК 131.61.23.02.00.00		
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Дизель ЗД6Н	
Розрод.	Боровик					
Перевір.	Нестеренко					
Н.контр.						
Затв.	Нестеренко					
					Лім	Аркуш
					У	1
					Аркушів	

Форм.	Зона	Позн.	Позначення	Найменування	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A1				Складальне креслення	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Насос масляний	1	
		2		Насос циркуляційний	1	
		3		Помпа заборотної води	1	
		7		Кришка циліндра	1	
		8		Клапан пусковий	6	
		9		Паливний насос	1	
		10		Форсунка	6	
				Деталі		
		4		Вал кулачковий	2	
		5		Колінчатий вал	1	
		6		Шатун	6	
		11		Гільза	6	
		12		Блок циліндрів	1	
		13		Картер верхній	1	
		14		Картер нижній	1	
		15		Кришка клапанів	1	
		16		Колектор впускний	1	
		17		Колектор випускний	1	
		18		Фільтр масляний	1	
		19		Поршень	6	
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	ПННІ НУК 131.61.23.02.00.00	
					Арк.	
					2	





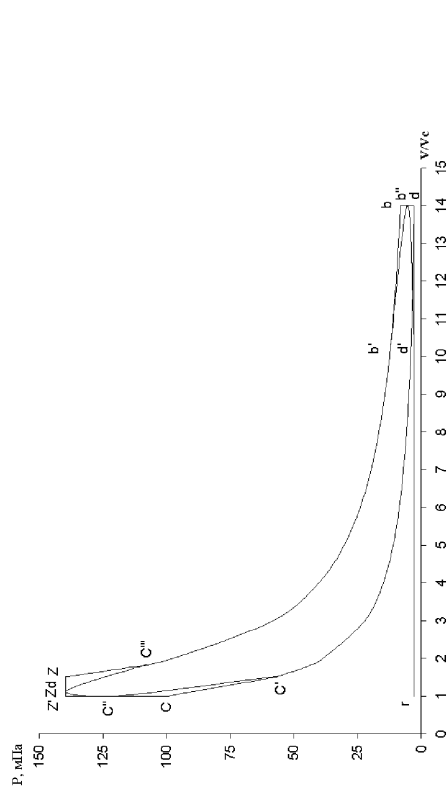
Технічна характеристика

Ефективна потужність	$N_e = 170$ кВт
Частота обертання	$n = 1500$ хв ⁻¹
Кількість циліндрів	$i = 6$
Діаметр циліндра	$d = 0.15$ м
Хід поршня	$S = 0.18$ м
Ступінь стиску	$\epsilon = 14$
Питома ефективна витрата палива	$g_e = 0.223$ кг/кВт·год

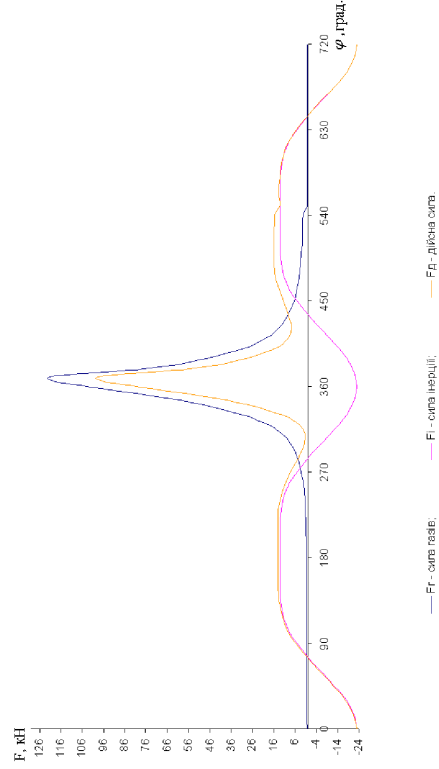
Технічні вимоги

- Використовувати дизельне паливо - 0,2 - 40 ГОСТ 305 - 82.
- Використовувати масло М22Г2ЦС ГОСТ 12337 - 87.
- * Розміри для довідок.

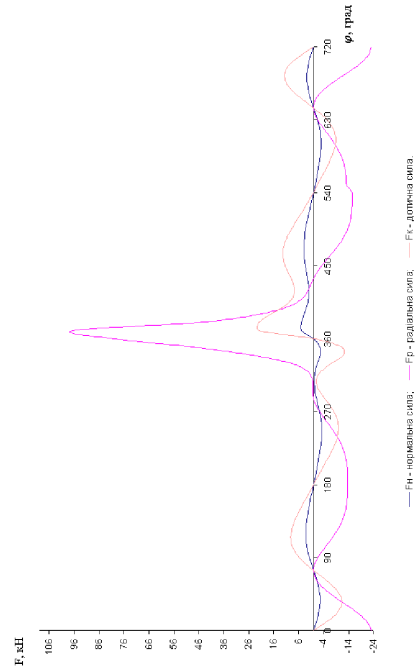
				ПНН НУК 131.61.23.02.00.00.СК			
м	Авг	Хмельник	Місто	Львів	Літ	Маса	Мощність
м	1990	Хмельник			9	1750	12
Львів		Хмельник					
Львів		Хмельник			Архив	Архив	
Хмельник							



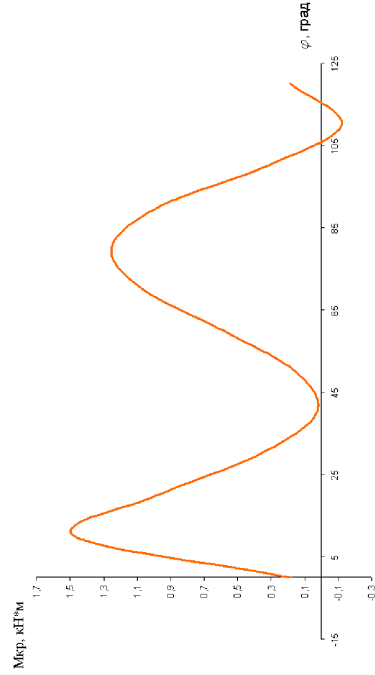
Дійсна і теоретична індикаторна діаграма



Сила газів, інерції, дійсн

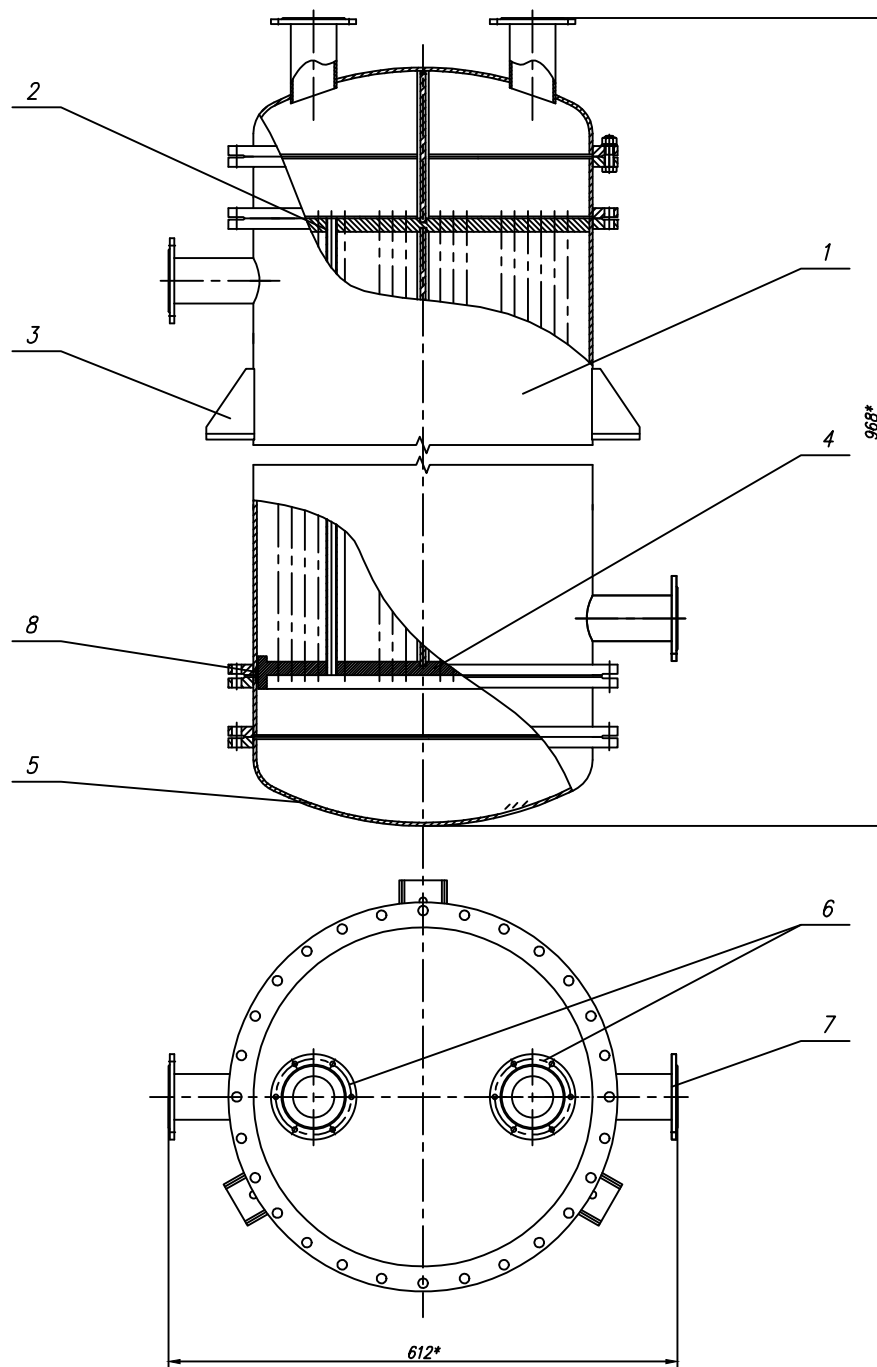


Сила нормальна, радіальна, дотична



Графік сумарного крутного моменту

ПННІ НУЖ 1316123.02.00 СХ									
Сил, що діють в КШМ та індикаторні діаграми									
№	Дат	Місц	Вісн	Вісн	Вісн	Вісн	Вісн	Вісн	Вісн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100



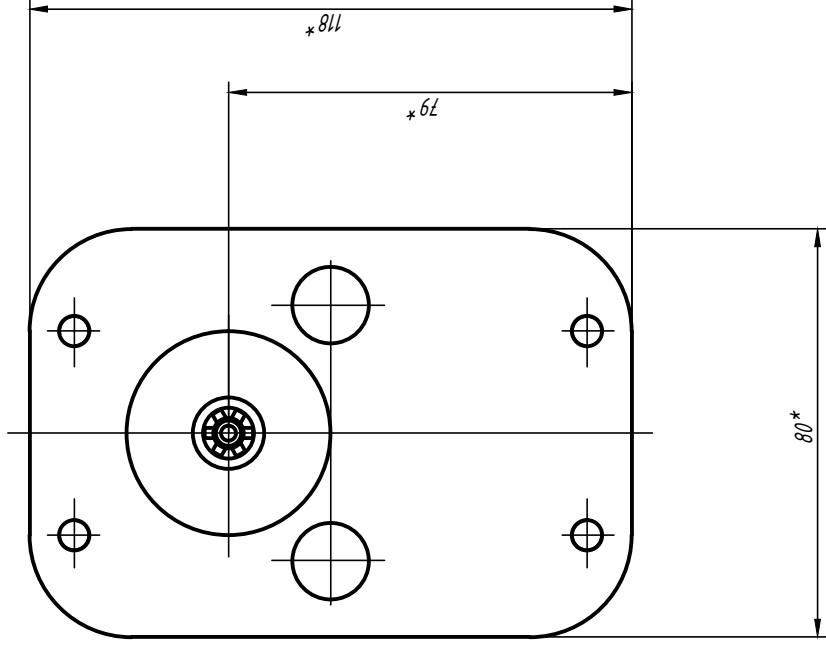
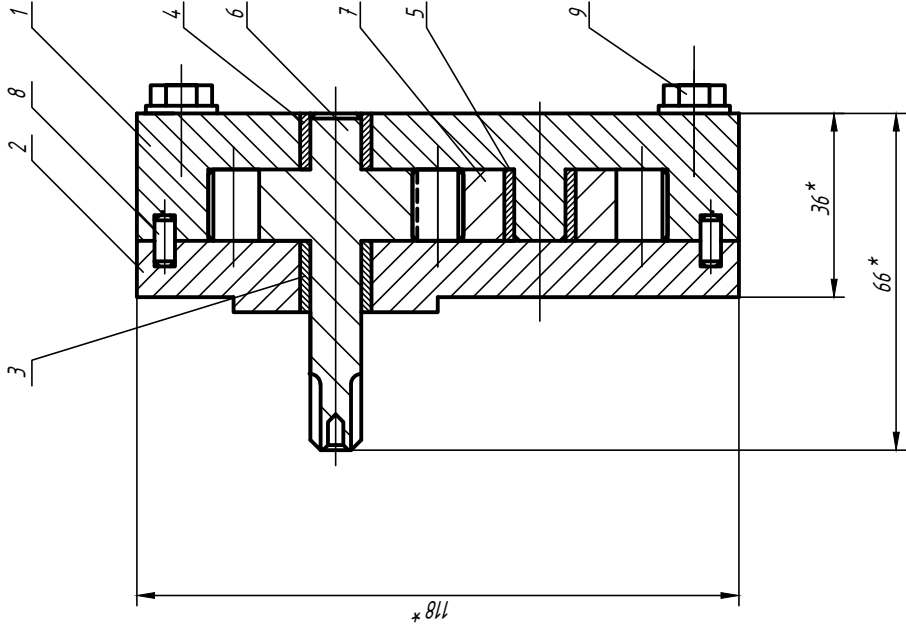
Технічна характеристика.

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Витрата охолоджуваної води | $G_p = 2700 \text{ кг/год}$ |
| 2. Витрата охолоджуючої води | $G_{\text{в}} = 3000 \text{ кг/год}$ |
| 3. Гідравлічний опір парожини охолоджуваної води | $\Delta P_1 = 0,232 \text{ кг/м}^3$ |
| 4. Гідравлічний опір парожини охолоджуючої води | $\Delta P_2 = 0,1515 \text{ кг/м}^3$ |

Технічні вимоги.

- Після складання перевірити теплоізоляцію на герметичність.
- В якості ущільнень використовувати паронітові прокладки
- * Розміри для довідок

						ПІННІ НУК 131.61.23.02.0.0.0 СК		
						Кожухотрубний підігрівач масла		
Зм.	Арх.	Модифікація	Підпис	Дата		Тип	Маса	Масштаб
Креслив.	Віривав					н	68	4:1
Начерм.	Начерм.					Архив / Архив		
Начерм.	Начерм.					61-ТЕМмас-22		
Зм.	Арх.	Модифікація	Підпис	Дата				



* Розміри для довідки

ЛННН НУК 13161232.0.0.СК		Масштаб	Масштаб	Масштаб
Насос передвусової		Масштаб	Масштаб	Масштаб
оромачи мотом		Масштаб	Масштаб	Масштаб
61-ТЕМпа-22		Масштаб	Масштаб	Масштаб