

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ТКАЧЕНКО С.Г.
ХОМЕНКО В.С.
АВДЮНІН Р.Ю.

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ В ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТА ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ЇХ РОЗПОДІЛУ

Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту
студентів спеціальностей 135 «Суднобудування»
спеціалізації «Суднові енергетичні установки та устаткування»
та «Експлуатація, випробування та монтаж суднових енергетичних установок»
денної та заочної форм навчання



Миколаїв
Видавець Торубара В. В.
2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

ТКАЧЕНКО С.Г.
ХОМЕНКО В.С.
АВДІЮНІН Р.Ю.

**РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ
В ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВОЇ
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ
ТА ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ЇХ РОЗПОДІЛУ**

Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту
студентів спеціальності 135 «Суднобудування»
(спеціалізації «Суднові енергетичні установки та устаткування»
та «Експлуатація, випробування та монтаж
суднових енергетичних установок»)
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв
Видавець Торубара В. В.
2016

УДК 629.5.03
ББК 39.455-01я81
Р65

Укладачі: С. Г. Ткаченко, к. т. н., доцент
В. С. Хоменко, викладач
Р. Ю. Авдюнін, викладач

Рецензент: В. С. Наливайко, к. т. н., професор кафедри двигунів
внутрішнього згоряння Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова

Р64 Розрахунок енергетичних потоків в елементах суднової енергетич-
ної установки та побудова діаграми їх розподілу : Методичні вказівки до
виконання розділу дипломного проекту студентів спеціальності 135 «Суд-
нобудування» (спеціалізації «Суднові енергетичні установки та устаткування»
та «Експлуатація, випробування та монтаж суднових енергетичних уста-
новок») денної та заочної форм навчання / С. Г. Ткаченко, В. С. Хоменко,
Р. Ю. Авдюнін. — Миколаїв : видавець Торубара В. В., 2016. — 24 с.

У методичних вказівках наведена методика розрахунку енергетичних потоків
в елементах суднової енергетичної установки. Ця методика використовується при
виконанні розділу дипломного проекту «Розробка теплової схеми установки. Об-
ґрунтування та вибір допоміжних енергетичних комплексів. Розробка схеми енер-
гетичних потоків».

Призначені для студентів Херсонської філії НУК, які навчаються за спеціаль-
ністю 135 «Суднобудування» (спеціалізації «Суднові енергетичні установки та
устаткування» та «Експлуатація, випробування та монтаж суднових енергетичних
установок»).

УДК 629.5.03
ББК 39.455-01я81

© Ткаченко С. Г., Хоменко В. С., Авдюнін Р. Ю., 2016

На вч а л ь н е в и д а н н я

ТКАЧЕНКО Станіслав Григорович
ХОМЕНКО Вікторія Станіславівна
АВДЮНІН Роман Юрійович

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТОКІВ В ЕЛЕМЕНТАХ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТА ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ЇХ РОЗПОДІЛУ

Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту
студентів спеціальності 135 «Суднобудування»
(спеціалізації «Суднові енергетичні установки та устаткування»
та «Експлуатація, випробування та монтаж суднових енергетичних установок»)
денної та заочної форм навчання

Комп'ютерне складання та верстання В. В. Торубара
Коректор О. С. Торубара

Формат 60×84^{1/16}. Умов. друк. арк. 2,0. Тираж 100 пр. Зам. №30/16.

Видавець та виготовлювач Торубара В. В.
вул. Наваринська, 5–17, м. Миколаїв, 54001, тел.: (067) 800-70-70
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4626 від 9.10.2013

ВСТУП

Запропоновані методичні вказівки містять методику розрахунку енергетичного балансу суднової енергетичної установки (СЕУ). В якості прикладу розглянуто розрахунок енергетичного балансу реального складу СЕУ танкера в ходовому режимі з розігрівом вантажу.

При розрахунку енергетичного балансу СЕУ для суден іншого призначення необхідно враховувати склад і характеристики енергетичного обладнання, прийняті проектні рішення, режими роботи обладнання.

У додатках 1–4 наведені фрагменти графічних схем енергетичного балансу для головного двигуна, допоміжного двигуна, котлів та умовні позначки до них.

Ці методичні вказівки, на наш погляд, прискорять виконання відповідних розділів дипломного проекту, а також дозволять запобігти зайвих помилок при розрахунках.

Задача виконавця — звести окремі частини балансу в єдину схему.

У розробці методичних вказівок активну участь приймав інженер-конструктор Капшин А.В., за що автори висловлюють велику подяку.

1. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Склад енергетичного устаткування СЕУ танкера представлений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Характеристики обладнання СЕУ

Найменування обладнання	К-ть	Марка обладнання	Примітки
Головний двигун (ГД)	1	5RT-flex50 «Wartsila diesel»	
Дизель-генератор (ДД)	3	6M20 «Krupp Mak»	
Допоміжний котел (ДК)	1	AQ-18 «Aalborg Industries»	
Котел комбінований (УК)	1	AQ-16C «Aalborg Industries»	

Таблиця 1.2. Режими роботи обладнання СЕУ

Обладнання	Режими					Прим.
	Ходовий з підтримкою температури вантажу	Ходовий з розігрівом вантажу	Стоянка, прийняття вантажу	Стоянка, видача вантажу	Стоянка без вантажних операцій	
ГД	1	1	—	—	—	
ДД	1	1	1	3	1	
ДК	—	1	—	—	—	
УК: – по пал. секції	1	—	1	1	1	
– по ут. секції	1	1	—	—	—	

Таблиця 1.3. Основні вихідні дані

	Найменування обладнання	Дані для розрахунку	Прим.
1	Головний двигун 5RT-flex50		
	Специфікаційна потужність	$N_e^{ГД} = 8100 \text{ кВт}$	
	Частота обертання	$n = 122 \text{ хв}^{-1}$	
	Питома витрата умовного палива	$g_e^{ГД} = 0,170 \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{год})$	
	Нижча теплота згоряння умовного палива	$Q_n^y = 42700 \text{ кДж}/\text{кг}$	
	Температура відпрацьованих газів за ГД	$T_r = 523 \text{ К}$	
	Середня ізобарна теплоємність умовного палива	$\bar{c}_{рпал} = 2,0 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{К}$	
	Температура підігріву палива	$T_{пал} = 423 \text{ К}$	

Продовження таблиці 1.3

	Найменування обладнання	Дані для розрахунку	Прим.
	Теоретично необхідна кількість повітря для згоряння 1 кг умовного палива	$L'_0 = 14,3$ кг/кг	
	Коефіцієнт надлишку продувного повітря по масі	$\varphi_n = 1,25$	
	Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні палива	$\alpha = 2,5$	
	Середня ізобарна теплоємність повітря	$\bar{c}_{рпов} = 1,0$ кДж/(кг·К)	
	Середня ізобарна теплоємність відпрацьованих газів	$\bar{c}_{рг} = 1,02$ кДж/(кг·К)	
	Температура в наддувному колекторі після охолоджувача	$T_k = 320$ К	
	Атмосферний тиск	$P_0 = 0,101$ МПа	
	Температура повітря в машинному відділенні	$T_{пов} = 300$ К	
	Адіабатний коефіцієнт корисної дії компресора	$\eta_{ок} = 0,85$	
	Частка теплової потужності, що відводиться з циркуляційною прісною водою	$a_{пв}^{ГД} = 0,06$ (прийнято з технічних характеристик ГД)	
	Частка теплової потужності, що відводиться з циркуляційним маслом	$a_{м}^{ГД} = 0,035$ (прийнято з технічних характеристик ГД)	
	Діаметр циліндра	$D = 0,5$ м	
	Хід поршня	$S = 2,05$ м	
	Кількість циліндрів	$i = 5$	
	Тактність	$z = 1$	
	Коефіцієнт наповнення циліндра	$\eta_n = 0,8$	
2	Допоміжний двигун 6М20		
	Електрична потужність дизель-генератора	$P^r = 880$ кВт	
	ККД генератора	$\eta_r = 0,95$	
	Питома витрата умовного палива	$g_e^{ДД} = 0,185$ кг/(кВт·год)	
	Коефіцієнт надлишку продувного повітря по масі для ДД	$\varphi_n = 1,1$	
	Коефіцієнт надлишку повітря при згорянні палива в ДД	$\alpha = 2,3$	
	Середня ізобарна теплоємність відпрацьованих газів в ДД	$\bar{c}_{рг} = 1,03$ кДж/(кг·К)	
	Частка теплової потужності, що відводиться з циркуляційною прісною водою	$a_{пв}^{ДД} = 0,06$ (прийнято з технічних характеристик ДД)	
	Частка теплової потужності, що відводиться з циркуляційним маслом	$a_{м}^{ДД} = 0,035$ (прийнято з технічних характеристик ДД)	
	Температура відпрацьованих газів за ДД	$T_r = 623$ К	

Закінчення таблиці 1.3

	Найменування обладнання	Дані для розрахунку	Прим.
	Температура повітря в машинному відділенні	$T_{\text{пов}} = 300 \text{ К}$	
	Діаметр циліндра	$D = 0,2 \text{ м}$	
	Хід поршня	$S = 0,3 \text{ м}$	
	Кількість циліндрів	$i = 6$	
	Тактність	$z = 0,5$	
	Коефіцієнт наповнення циліндра	$\eta_n = 0,95$	
	Частота обертання колінчастого вала	$n = 900 \text{ хв}^{-1}$	

2. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА 5RT-FLEX50

Необхідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.3.

2.1. Витрата палива ГД при специфікаційній потужності:

$$G_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = \frac{g_e^{\text{ГД}} \cdot N_e^{\text{ГД}}}{3600}, \text{ кг/с.} \quad (2.1)$$

$$G_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = \frac{0,170 \cdot 8100}{3600} = 0,382 \text{ кг/с.}$$

2.2. Витрати повітря, яке потрапляє до ГД:

$$G_{\text{пов}}^{\text{ГД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ГД}} \cdot L'_0 \cdot \varphi_{\text{п}} \cdot \alpha, \text{ кг/с.} \quad (2.2)$$

$$G_{\text{пов}}^{\text{ГД}} = 0,382 \cdot 14,3 \cdot 1,25 \cdot 2,5 = 17,1 \text{ кг/с.}$$

2.3. Витрати газів, що залишають ГД:

$$G_{\text{г}}^{\text{ГД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ГД}} + G_{\text{пов}}^{\text{ГД}}, \text{ кг/с.} \quad (2.3)$$

$$G_{\text{г}}^{\text{ГД}} = 0,382 + 17,1 = 17,48 \text{ кг/с.}$$

2.4. Тиск наддувного повітря:

$$p_k = 0,872 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g_e^{\text{ГД}} \cdot N_e^{\text{ГД}} \cdot \alpha \cdot T_{\text{к}}}{D^2 \cdot S \cdot i \cdot z \cdot n \cdot \eta_n}, \text{ МПа.} \quad (2.4)$$

$$p_k = 0,872 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,170 \cdot 8100 \cdot 2,5 \cdot 320}{0,5^2 \cdot 2,05 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 122 \cdot 0,85} = 0,38 \text{ МПа.}$$

2.5. Температура наддувального повітря після компресора:

$$T'_k = T_{\text{пов}} \cdot \left[1 + \frac{\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{\text{ок}}} \right], \text{ К.} \quad (2.5)$$

$$T'_k = 300 \cdot \left[1 + \frac{\left(\frac{0,38}{0,101} \right)^{0,286} - 1}{0,85} \right] = 460 \text{ К.}$$

2.6. Складові енергетичного балансу головного двигуна:

Енергетичний баланс головного двигуна дорівнює:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} + Q_{\text{ппал}}^{\text{ГД}} + Q_{\text{пов}}^{\text{ГД}} = N_e^{\text{ГД}} + Q_{\text{г}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{м}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ГД}} + \Delta N_{\text{мех}}^{\text{ГД}}, \quad (2.6)$$

- де $Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}}$ — теплова потужність палива при згорянні в ГД, кВт;
 $Q_{\text{ппал}}^{\text{ГД}}$ — теплова потужність, з якою потрапляє паливо в ГД після підігріву, кВт;
 $Q_{\text{пов}}^{\text{ГД}}$ — теплова потужність повітря, яке потрапляє до компресора ГД, кВт;
 $N_e^{\text{ГД}}$ — корисна потужність ГД, кВт;
 $Q_{\text{г}}^{\text{ГД}}$ — теплова потужність, яку мають відпрацьовані гази, покидаючи ГД, кВт;
 $\Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ГД}}$ — теплова потужність, що втрачається з циркуляційною прісною водою, кВт;
 $\Delta Q_{\text{м}}^{\text{ГД}}$ — теплова потужність, що втрачається з циркуляційним маслом, кВт;
 $\Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ГД}}$ — теплова потужність, що втрачається при охолодженні наддувального повітря, кВт;
 $\Delta N_{\text{мех}}^{\text{ГД}}$ — механічні втрати потужності в ГД, кВт.

2.6.1. Теплова потужність умовного палива при згорянні в ГД:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ГД}} \cdot Q_{\text{н}}^y, \text{ кВт.} \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = 0,382 \cdot 42700 = 16311,4 \text{ кВт.}$$

2.6.2. Теплова потужність, з якою потрапляє паливо в ГД після його підігріву:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ГД}} \cdot \bar{c}_{\text{рпал}} \cdot T_{\text{пал}}, \text{ кВт.} \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = 0,382 \cdot 2,0 \cdot 423 = 323 \text{ кВт.}$$

2.6.3. Теплова потужність повітря, яке потрапляє до компресора ГД:

$$Q_{\text{пов}}^{\text{ГД}} = G_{\text{пов}}^{\text{ГД}} \cdot \bar{c}_{\text{рпов}} \cdot T_{\text{к}}, \text{ кВт.} \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{пов}}^{\text{ГД}} = 17,1 \cdot 1,0 \cdot 300 = 5130 \text{ кВт.}$$

2.6.4. Теплова потужність, яку мають відпрацьовані гази, покидаючи ГД:

$$Q_{\text{г}}^{\text{ГД}} = G_{\text{г}}^{\text{ГД}} \cdot \bar{c}_{\text{рг}} \cdot T_{\text{г}}, \text{ кВт.} \quad (2.10)$$

$$Q_{\text{г}}^{\text{ГД}} = 17,48 \cdot 1,02 \cdot 523 = 9324,9 \text{ кВт.}$$

2.6.5. Теплова потужність, що втрачається з циркуляційною прісною водою:

$$\Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ГД}} = a_{\text{пв}}^{\text{ГД}} \cdot Q_{\text{паль}}^{\text{ГД}}, \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

$$\Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ГД}} = 0,06 \cdot 16311,4 = 978,7 \text{ кВт.}$$

2.6.6. Теплова потужність, що втрачається з циркуляційним маслом:

$$\Delta Q_{\text{м}}^{\text{ГД}} = a_{\text{м}}^{\text{ГД}} \cdot Q_{\text{паль}}^{\text{ГД}}, \text{ кВт.} \quad (2.12)$$

$$\Delta Q_{\text{м}}^{\text{ГД}} = 0,035 \cdot 16311,4 = 571 \text{ кВт.}$$

2.6.7. Теплова потужність, що втрачається при охолодженні наддувного повітря ГД:

$$\Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ГД}} = G_{\text{пов}}^{\text{ГД}} \cdot \bar{c}_{\text{рпов}} \cdot (T'_{\text{к}} - T_{\text{к}}), \text{ кВт.} \quad (2.13)$$

$$\Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ГД}} = 17,1 \cdot 1,0 \cdot (460 - 320) = 2394 \text{ кВт.}$$

2.6.8. Механічні втрати потужності в ГД.

Механічні втрати потужності в ГД переходять до деталей остова двигуна у вигляді теплоти:

$$\Delta N_{\text{мех}}^{\text{ГД}} = a_{\text{ост}} \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{т}}}{\eta_{\text{т}}} \right) \cdot N_{\text{е}}^{\text{ГД}}, \text{ кВт.} \quad (2.14)$$

$$\Delta N_{\text{мех}}^{\text{ГД}} = 0,5 \cdot \left(\frac{1 - 0,95}{0,95} \right) \cdot 8100 = 213 \text{ кВт.}$$

Втрати механічної потужності через деталі остова $a_{\text{ост}}$ складають приблизно 50% ($a_{\text{ост}} \approx 0,5$). Друга половина механічної потужності втрачається в масло та охолоджуючу прісну воду.

2.7. Перевірка рівняння енергетичного балансу головного двигуна.

Для більшого розуміння балансу перегрупуємо складові рівняння (2.6) у такому вигляді:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = N_e^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{м}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ГД}} + \Delta N_{\text{мех}}^{\text{ГД}} + Q_{\text{г}}^{\text{ГД}} - Q_{\text{ппал}}^{\text{ГД}} - Q_{\text{пов}}^{\text{ГД}}. \quad (2.15)$$

Є очевидним, що останні три складові — це теплова потужність, яка означає втрати енергії з відпрацьованими газами, тоді в кінцевому вигляді рівняння енергетичного балансу буде мати вигляд:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}} = N_e^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{м}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ГД}} + \Delta N_{\text{мех}}^{\text{ГД}} + \Delta Q_{\text{г}}^{\text{ГД}}, \quad (2.16)$$

де $\Delta Q_{\text{г}}^{\text{ГД}} = Q_{\text{г}}^{\text{ГД}} - Q_{\text{ппал}}^{\text{ГД}} - Q_{\text{пов}}^{\text{ГД}}$ — втрати теплової потужності з відпрацьованими газами, кВт.

$$\Delta Q_{\text{г}}^{\text{ГД}} = 9324,9 - 323 - 5130 = 3871,4 \text{ кВт.}$$

Після підстановки усіх складових в рівняння (2.16) зробимо перевірку енергетичного балансу головного двигуна:

$$16311,4 \text{ кВт} = 8100 + 978,7 + 571 + 2394 + 213 + 3871,4 \text{ кВт.}$$

$$16311,4 \text{ кВт} \neq 16128,6 \text{ кВт.}$$

Абсолютна похибка при визначенні складових балансу:

$$\Delta = 16311,4 - 16128,6 = 182,8 \text{ кВт.}$$

Відносна похибка розрахунку:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{Q_{\text{пал}}^{\text{ГД}}}. \quad (2.17)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{182,8}{16311,4} = 0,0112.$$

Відносні складові балансу ГД:

$\bar{N}_e^{\text{ГД}}$	$\Delta \bar{Q}_{\text{пв}}^{\text{ГД}}$	$\Delta \bar{Q}_{\text{м}}^{\text{ГД}}$	$\Delta \bar{Q}_{\text{нп}}^{\text{ГД}}$	$\Delta \bar{N}_{\text{мех}}^{\text{ГД}}$	$\Delta \bar{Q}_{\text{г}}^{\text{ГД}}$
0,4966	0,060	0,0350	0,147	0,0131	0,2373

Розрахунок свідчить про достатньо точний розподіл складових енергетичного балансу головного двигуна.

3. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДОПОМІЖНОГО ДВИГУНА 6М20

Розрахунок енергетичного балансу для допоміжного двигуна проведемо аналогічно розрахунку, що виконано для головного двигуна.

Необхідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.3.

3.1. Потужність допоміжного двигуна:

$$N_e^{\text{ДД}} = \frac{P_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}}, \text{ кВт.} \quad (3.1)$$

$$N_e^{\text{ДД}} = \frac{880}{0,95} = 926 \text{ кВт.}$$

3.2. Витрата палива ДД при специфікаційній потужності:

$$G_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = \frac{g_e^{\text{ДД}} \cdot N_e^{\text{ДД}}}{3600}, \text{ кг/с.} \quad (3.2)$$

$$G_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = \frac{0,185 \cdot 926}{3600} = 0,0476 \text{ кг/с.}$$

3.3. Витрати повітря, яке потрапляє до ДД:

$$G_{\text{пов}}^{\text{ДД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДД}} \cdot L'_0 \cdot \varphi_a \cdot \alpha, \text{ кг/с.} \quad (3.3)$$

$$G_{\text{пов}}^{\text{ДД}} = 0,0476 \cdot 14,3 \cdot 1,1 \cdot 2,3 = 1,72 \text{ кг/с.}$$

3.4. Витрати газів, що залишають ДД:

$$G_{\Gamma}^{\text{ДД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДД}} + G_{\text{пов}}^{\text{ДД}} \text{ кг/с.} \quad (3.4)$$

$$G_{\Gamma}^{\text{ДД}} = 0,0476 + 1,72 = 1,77 \text{ кг/с.}$$

3.5. Тиск наддувного повітря:

$$p_k = 0,872 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g_e^{\text{ДД}} \cdot N_e^{\text{ДД}} \cdot \alpha_{\text{гор}} \cdot T_{\text{к}}}{D^2 \cdot S \cdot i \cdot z \cdot n \cdot \eta_{\text{н}}}, \text{ МПа.} \quad (3.5)$$

$$p_k = 0,872 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,185 \cdot 926 \cdot 2,3 \cdot 320}{0,2^2 \cdot 0,3 \cdot 6 \cdot 0,5 \cdot 900 \cdot 0,95} = 0,36 \text{ МПа.}$$

3.6. Температура наддувного повітря після компресора:

$$T'_k = T_{\text{пов}} \cdot \left[1 + \frac{\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{0,286} - 1}{\eta_{\text{ок}}} \right], \text{ К.} \quad (3.6)$$

$$T'_k = 300 \cdot \left[1 + \frac{\left(\frac{0,36}{0,101} \right)^{0,286} - 1}{0,85} \right] = 455 \text{ К.}$$

3.7. Складові енергетичного балансу допоміжного двигуна.

Енергетичний баланс допоміжного двигуна складається:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} + Q_{\text{ппал}}^{\text{ДД}} + Q_{\text{пов}}^{\text{ДД}} = N_e^{\text{ДД}} + Q_{\text{г}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{м}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ДД}} + \Delta N_{\text{мех}}^{\text{ДД}}, \quad (3.7)$$

- де $Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}}$ — теплова потужність палива при згорянні в ДД, кВт;
 $Q_{\text{ппал}}^{\text{ДД}}$ — теплова потужність, з якою входить паливо в ДД після підігріву, кВт;
 $Q_{\text{пов}}^{\text{ДД}}$ — теплова потужність повітря, яке потрапляє до компресора ДД, кВт;
 $N_e^{\text{ДД}}$ — потужність ДД, кВт;
 $Q_{\text{г}}^{\text{ДД}}$ — теплова потужність, яку мають відпрацьовані гази, покидаючи ДД, кВт;
 $\Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ДД}}$ — теплова потужність, що втрачається з циркуляційною прісною водою, кВт;
 $\Delta Q_{\text{м}}^{\text{ДД}}$ — теплова потужність, що втрачається з циркуляційним маслом, кВт;
 $\Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ДД}}$ — теплова потужність, що втрачається при охолодженні наддувного повітря, кВт;
 $\Delta N_{\text{мех}}^{\text{ДД}}$ — механічні втрати потужності в ДД, кВт.

3.7.1. Теплова потужність умовного палива при згорянні в ДД:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДД}} \cdot Q_{\text{н}}^y, \text{ кВт.} \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = 0,0476 \cdot 42700 = 2033 \text{ кВт.}$$

3.7.2. Теплова потужність, з якою входить паливо в ДД після підігріву:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДД}} \cdot \bar{c}_{\text{рпал}} \cdot T_{\text{пал}}, \text{ кВт.} \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = 0,0476 \cdot 2,0 \cdot 423 = 40,3 \text{ кВт.}$$

3.7.3. Теплова потужність повітря, яке потрапляє до компресора ДД:

$$Q_{\text{пов}}^{\text{ДД}} = G_{\text{пов}}^{\text{ДД}} \cdot \bar{c}_{\text{рпов}} \cdot T_{\text{к}}, \text{ кВт.} \quad (3.10)$$

$$Q_{\text{пов}}^{\text{ДД}} = 1,72 \cdot 1,0 \cdot 300 = 516 \text{ кВт.}$$

3.7.4. Теплова потужність, яку мають відпрацьовані гази, покидаючи ДД:

$$Q_{\text{г}}^{\text{ДД}} = G_{\text{г}}^{\text{ДД}} \cdot \bar{c}_{\text{рг}} \cdot T_{\text{г}}, \text{ кВт.} \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{г}}^{\text{ДД}} = 1,77 \cdot 1,03 \cdot 623 = 1136 \text{ кВт.}$$

3.7.5. Теплова потужність, що втрачається з циркуляційною прісною водою:

$$\Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ДД}} = a_{\text{пв}}^{\text{ДД}} \cdot Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} \text{ кВт.} \quad (3.12)$$

$$\Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ДД}} = 0,07 \cdot 2033 = 142,3 \text{ кВт.}$$

3.7.6. Теплова потужність, що втрачається з циркуляційним маслом:

$$\Delta Q_{\text{м}}^{\text{ДД}} = a_{\text{м}}^{\text{ДД}} \cdot Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} \text{ кВт.} \quad (3.13)$$

$$\Delta Q_{\text{м}}^{\text{ДД}} = 0,06 \cdot 2033 = 121 \text{ кВт.}$$

3.7.7. Теплова потужність, що втрачається при охолодженні наддувного повітря ДД:

$$\Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ДД}} = G_{\text{пов}}^{\text{ДД}} \cdot \bar{c}_{\text{рпов}} \cdot (T_{\text{к}}' - T_{\text{к}}), \text{ кВт.} \quad (3.14)$$

$$\Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ДД}} = 1,72 \cdot 1,0 \cdot (455 - 320) = 232,2 \text{ кВт.}$$

3.7.8. Механічні втрати потужності в ДД.

Механічні втрати потужності в ДД переходять до деталей остова двигуна у вигляді теплоти.

$$\Delta N_{\text{мех}}^{\text{ДД}} = a_{\text{ост}} \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{т}}}{\eta_{\text{т}}} \right) \cdot N_{\text{е}}^{\text{ДД}}, \text{ кВт.} \quad (3.15)$$

$$\Delta N_{\text{мех}}^{\text{ГД}} = 0,5 \cdot \left(\frac{1 - \eta_{\text{т}}}{\eta_{\text{т}}} \right) \cdot 926 = 24,4 \text{ кВт.}$$

Втрати механічної потужності через деталі остова $a_{\text{ост}}$ складають приблизно 50 % ($a_{\text{ост}} \approx 0,5$). Друга половина механічної потужності втрачається в масло та охолоджуючу прісну воду.

3.8. Перевірка рівняння енергетичного балансу допоміжного двигуна:

Перегрупуємо складові рівняння (3.7) у такому вигляді:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = N_e^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{м}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ДД}} + \Delta N_{\text{мех}}^{\text{ДД}} + Q_{\text{г}}^{\text{ДД}} - Q_{\text{ппал}}^{\text{ДД}} - Q_{\text{пов}}^{\text{ДД}}. \quad (3.16)$$

Останні три складові — це теплова потужність, яка означає втрати енергії з відпрацьованими газами, тоді в кінцевому вигляді рівняння енергетичного балансу буде мати вигляд:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}} = N_e^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{пв}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{м}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{нп}}^{\text{ДД}} + \Delta N_{\text{мех}}^{\text{ДД}} + \Delta Q_{\text{г}}^{\text{ДД}}, \quad (3.17)$$

де $\Delta Q_{\text{г}}^{\text{ДД}} = Q_{\text{г}}^{\text{ДД}} - Q_{\text{ппал}}^{\text{ДД}} - Q_{\text{пов}}^{\text{ДД}}$ — втрати теплової потужності з відпрацьованими газами, кВт:

$$\Delta Q_{\text{г}}^{\text{ДД}} = 1136 - 40,3 - 516 = 579,7 \text{ кВт.}$$

Після підстановки усіх складових в рівняння (3.17) зробимо перевірку енергетичного балансу допоміжного двигуна:

$$2033 \text{ кВт} = 926 + 142,3 + 121 + 232,2 + 24,4 + 579,7 \text{ кВт.}$$

$$2033 \text{ кВт} \neq 2025,6 \text{ кВт.}$$

Абсолютна похибка при визначенні складових балансу:

$$\Delta = 2033 - 2025,6 = 7,4 \text{ кВт.}$$

Відносна похибка розрахунку:

$$\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{Q_{\text{пал}}^{\text{ДД}}}. \quad (3.18)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{7,4}{16311,4} = 0,004.$$

Відносні складові балансу ДД:

$\bar{N}_e^{\text{ДД}}$	$\bar{\Delta Q}_{\text{пв}}^{\text{ДД}}$	$\bar{\Delta Q}_{\text{м}}^{\text{ДД}}$	$\bar{\Delta Q}_{\text{нп}}^{\text{ДД}}$	$\bar{\Delta N}_{\text{мех}}^{\text{ДД}}$	$\bar{\Delta Q}_{\text{г}}^{\text{ДД}}$
0,455	0,069	0,060	0,114	0,012	0,285

Розрахунок свідчить про достатньо точний розподіл складових енергетичного балансу допоміжного двигуна.

4. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ УТИЛІЗАЦІЙНОГО КОТЛА

4.1. Розрахунок можливої паропродуктивності утилізаційного котла:

$$D_{\text{ук}} = \frac{g_e^{\Gamma\text{Д}} \cdot N_e^{\Gamma\text{Д}} \cdot \varphi(\alpha_{\Sigma} \cdot L'_0 + 1) \cdot (c_{\text{рг}} \cdot T_{\Gamma} - c_{\text{рг.ух}} \cdot T_{\text{ух}})}{i_{\text{п}} - i_{\text{жв}}}, \text{ кг/год}, \quad (4.1)$$

де $\varphi = 0,95-0,97$ — коефіцієнт, що враховує втрати теплоти в навколишнє середовище (приймаємо 0,95);

$(\alpha_{\Sigma} \cdot L'_0 + 1)$, кг/кг — витрата вихлопних газів з розрахунку на 1 кг палива, що спалюється;

$\alpha_{\Sigma} = \alpha \cdot \varphi_{\text{п}}$, де α — коефіцієнт надлишку повітря при згорянні,

$\varphi_{\text{п}}$ — коефіцієнт надлишку продувного повітря по масі:

для двотактних ДВЗ $\varphi_{\text{п}} = 1,2 \dots 1,25$;

для чотиритактних ДВЗ $\varphi_{\text{п}} = 1,05 \dots 1,1$;

$\bar{c}_{\text{рг}} \approx \bar{c}_{\text{рг.ух}} = 1,03$, кДж/(кг·К) — середня масова ізобарна теплоємність газу відповідно на вході і виході з УК;

$T_{\Gamma} = 523$ К — температура відпрацьованих в ГД газів на вході в УК;

$T_{\text{ух}} = 453$ К — температура газів на виході з УК;

$i_{\text{п}} = 2768$ кДж/кг — ентальпія насиченої пари при $P = 0,8$ МПа ($t_s = 170^{\circ}\text{C}$);

$i_{\text{жв}} = 310$ кДж/кг — ентальпія живильної води (в теплому ящику);

$L'_0 = 13,5$ кг/кг — теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг високов'язкого палива.

$$D_{\text{ук}} = \frac{0,170 \cdot 8100 \cdot 0,95 \cdot (13,5 \cdot 1,25 \cdot 2,5 + 1) \cdot (1,03 \cdot 523 - 1,03 \cdot 453)}{2768 - 310} =$$

$$= 1657 \text{ кг/год} (0,46 \text{ кг/хв}).$$

4.2. Теплова потужність, витрачена для одержання насиченої пари:

$$\Delta Q^{\text{ук}} = \frac{D^{\text{ук}} \cdot (i_{\text{пв}} - i_{\text{жв}})}{3600}, \text{ кВт}. \quad (4.2)$$

$$\Delta Q^{\text{ук}} = \frac{1657 \cdot (2768 - 310)}{3600} = 1131,6 \text{ кВт}.$$

4.3. Теплова потужність газів, яку мають гази після УК:

$$\begin{aligned} Q_{\text{гyx}}^{\text{УК}} &= G_{\text{г}}^{\text{ГД}} \cdot \bar{c}_{\text{пг}} \cdot T_{\text{гy}}, \text{ кВт.} \\ Q_{\text{гyx}}^{\text{УК}} &= 17,48 \cdot 1,02 \cdot 453 = 8077 \text{ кВт.} \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.4. Енергетичний баланс УК:

$$G_{\text{г}}^{\text{ГД}} - Q_{\text{гyx}}^{\text{УК}} - \Delta Q^{\text{УК}} = Q_{\text{втр}}^{\text{УК}}, \quad (4.4)$$

де $Q_{\text{втр}}^{\text{УК}}$, кВт — теплова потужність, що втрачається в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{втр}}^{\text{УК}} = 9324,9 - 8077 - 1131,6 = 116,3 \text{ кВт.}$$

4.5. Коефіцієнт використання тепла в УК:

$$\eta_{\text{УК}} = \frac{Q^{\text{УК}}}{Q_{\text{г}}^{\text{ГД}}} = \frac{1131,6}{3871,4} = 0,30. \quad (4.5)$$

5. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДОПОМІЖНОГО КОТЛА

5.1. Необхідна кількість пари, яку виробляє допоміжний котел АQ-9 для ходового режиму з розігрівом вантажу з урахуванням паропроодуктивності УК:

$$D^{\text{ДК}} = D_3 - D_{\text{УК}}, \quad (5.1)$$

де $D_3 = 15630$ кг/год — загальна кількість пари для суднових споживачів в ходовому режимі з розігрівом вантажу (розрахунок парового навантаження);

$D_{\text{УК}} = 1657$ кг/год — паропроодуктивність УК.

$$D^{\text{ДК}} = 15630 - 1657 = 13973 \text{ кг/год.}$$

5.2. Теплова потужність, що виділилась при спалюванні палива в допоміжному котлі:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}} = \frac{0,08 \cdot D^{\text{ДК}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{В}}}{3600}, \text{ кВт,} \quad (5.2)$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{В}} = 39900$ кДж/кг — нижча теплота згоряння високов'язкого палива;
0,08 — статистичне співвідношення між кількістю спаленого палива і виробленою парою.

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}} = 0,08 \cdot 13973 \cdot 39900 / 3600 = 12389 \text{ кВт.}$$

5.3. Теплова потужність пари, яка виробляється в ДК:

$$\Delta Q_{\text{пар}}^{\text{ДК}} = \frac{D^{\text{УК}} \cdot (i_{\text{пв}} - i_{\text{жв}})}{3600}, \text{ кВт.} \quad (5.3)$$

$$\Delta Q_{\text{пар}}^{\text{ДК}} = \frac{13973 \cdot (2768 - 310)}{3600} = 9540 \text{ кВт.}$$

5.4. Витрата палива допоміжним котлом для виробництва пари в заданому режимі:

$$G_{\text{пал}}^{\text{ДК}} = \frac{0,08 \cdot D^{\text{ДК}}}{3600}, \text{ кг/хв.} \quad (5.4)$$

$$G_{\text{пал}}^{\text{ДК}} = \frac{0,08 \cdot 13973}{3600} = 0,311 \text{ кг/хв.}$$

5.5. Кількість повітря для згоряння палива в допоміжному котлі:

$$G_{\text{пов}}^{\text{ДК}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДК}} \cdot L_0 \cdot \alpha, \text{ кг/хв.} \quad (5.5)$$

$$G_{\text{пов}}^{\text{ДК}} = 0,311 \cdot 13,5 \cdot 1,1 = 4,62 \text{ кг/хв.}$$

5.6. Кількість випускних газів допоміжного котла:

$$G_{\text{г}}^{\text{ДК}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДК}} + G_{\text{пов}}^{\text{ДК}}, \text{ кг/хв.} \quad (5.6)$$

$$G_{\text{г}}^{\text{ДК}} = 0,311 + 4,62 = 4,93 \text{ кг/хв.}$$

5.7. Теплова потужність відпрацьованих газів допоміжного котла:

$$Q_{\text{г}}^{\text{ДК}} = G_{\text{г}}^{\text{ДК}} \cdot \bar{c}_{\text{рг}} \cdot T_{\text{ух}}^{\text{ДК}}, \text{ кВт,} \quad (5.7)$$

де $T_{\text{ух}}^{\text{ДК}} = 453 \text{ К}$ — температура відпрацьованих в ДК газів.

$$Q_{\text{г}}^{\text{ДК}} = 4,93 \cdot 1,03 \cdot 453 = 2300 \text{ кВт.}$$

5.8. Теплова потужність, з якою потрапляє паливо в ДК після його підігріву:

$$Q_{\text{ппал}}^{\text{ДК}} = G_{\text{пал}}^{\text{ДК}} \cdot \bar{c}_{\text{рпал}} \cdot T_{\text{пал}}, \text{ кВт.} \quad (5.8)$$

$$Q_{\text{ппал}}^{\text{ДК}} = 0,311 \cdot 2,0 \cdot 423 = 263 \text{ кВт}$$

5.9. Теплова потужність повітря, яке подається до форсунки:

$$Q_{\text{пов}}^{\text{ДК}} = G_{\text{пов}}^{\text{ДК}} \cdot \bar{c}_{\text{рпов}} \cdot T_{\text{пов}}, \text{ кВт.} \quad (5.9)$$

$$Q_{\text{пов}}^{\text{ДК}} = 4,62 \cdot 1,0 \cdot 300 = 1386 \text{ кВт.}$$

5.10. Енергетичний баланс допоміжного котла:

$$Q_{\text{пал}}^{\text{ДК}} + Q_{\text{ппал}}^{\text{ДК}} + Q_{\text{пов}}^{\text{ДК}} = \Delta Q_{\text{пар}}^{\text{ДК}} + Q_{\text{г}}^{\text{ДК}} + Q_{\text{втр}}^{\text{ДК}}, \quad (5.10)$$

де $Q_{\text{втр}}^{\text{ДК}}$, кВт — теплова потужність, що втрачається від хімічної, механічної неповноти згоряння палива та в навколишнє середовище:

$$12389 + 263 + 1386 = 9540 + 2300 + Q_{\text{втр}}^{\text{ДК}}.$$

$$Q_{\text{втр}}^{\text{ДК}} = 14038 - 11840 = 2198 \text{ кВт}.$$

6. РОЗРАХУНОК ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА В МЕХАНІЧНУ ПОТУЖНІСТЬ УПОРА ГВИНТА

Потужність, що передається від головного двигуна на гвинт:

$$N_e^{\text{ГД}} = N_R + Q_{\text{пв}} + Q_D, \text{ кВт}, \quad (6.1)$$

де N_R , кВт — потужність, яка перетворюється в упор гвинта;

$Q_{\text{пв}}$, кВт — теплова потужність, що втрачається в підшипниках валопроводу;

Q_D , кВт — витрата механічної потужності на рушій.

Теплова потужність, що втрачається в підшипниках валопроводу:

$$Q_{\text{пв}} = N_e^{\text{ГД}} \cdot (1 - \eta_{\text{вп}}) = 8100 \cdot (1 - 0,98) = 162 \text{ кВт}, \quad (6.2)$$

де $\eta_{\text{вп}} = 0,98$ — ККД валопроводу.

Енергія, що підводиться до рушія:

$$N'_e = N_e^{\text{ГД}} - Q_{\text{пв}} = 8100 - 162 = 7938 \text{ кВт}. \quad (6.3)$$

Витрати механічної потужності на рушій:

$$Q_D = (N_e^{\text{ГД}} - Q_{\text{пв}}) \cdot (1 - \eta_D) = (8100 - 162) \cdot (1 - 0,56) = 3493 \text{ кВт}, \quad (6.4)$$

де $\eta_D = 0,56$ — пропульсивний коефіцієнт, який приймаємо з розрахунку ходкості.

Потужність, що перетворюється на упор:

$$N_R = N_e^{\text{ГД}} \cdot \eta_{\text{вп}} \cdot \eta_D = 8100 \cdot 0,98 \cdot 0,56 = 4445 \text{ кВт}. \quad (6.5)$$

Зробимо перевірку потоків теплоти:

$$N_e^{\text{ГД}} = 4445 + 162 + 3493 = 8100 \text{ кВт}.$$

СХЕМА ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА 5RT-flex50 ТАНКЕРА $D = 40\,800\text{ т}$, $N_e = 8100\text{ кВт}$

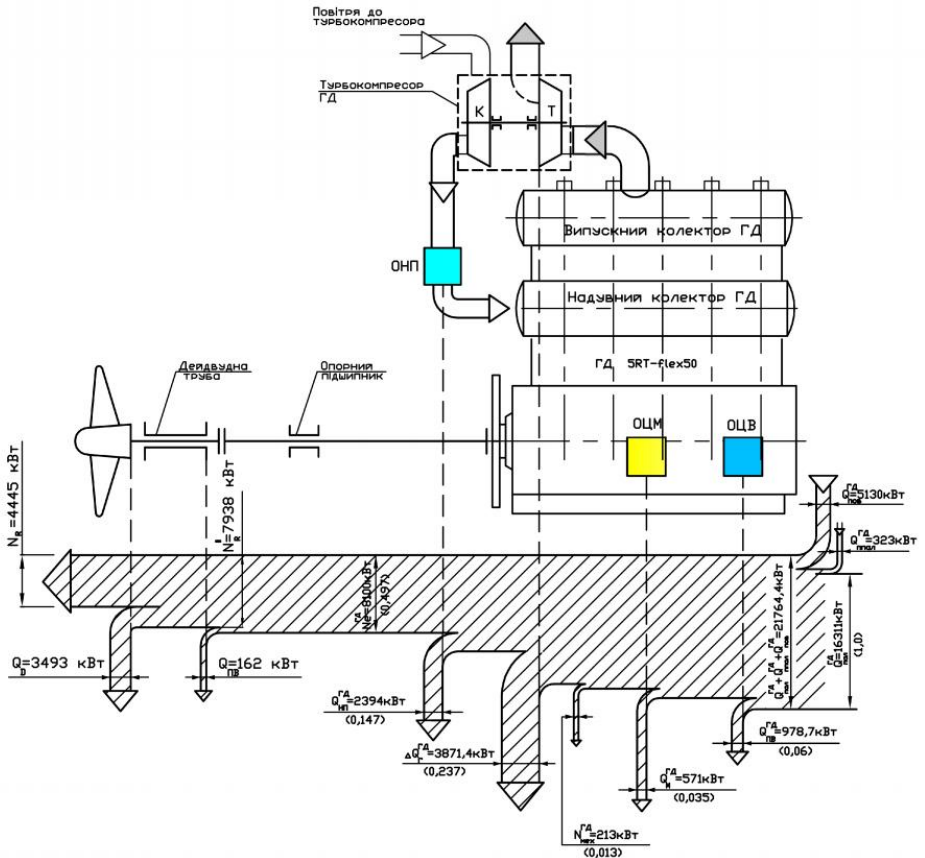
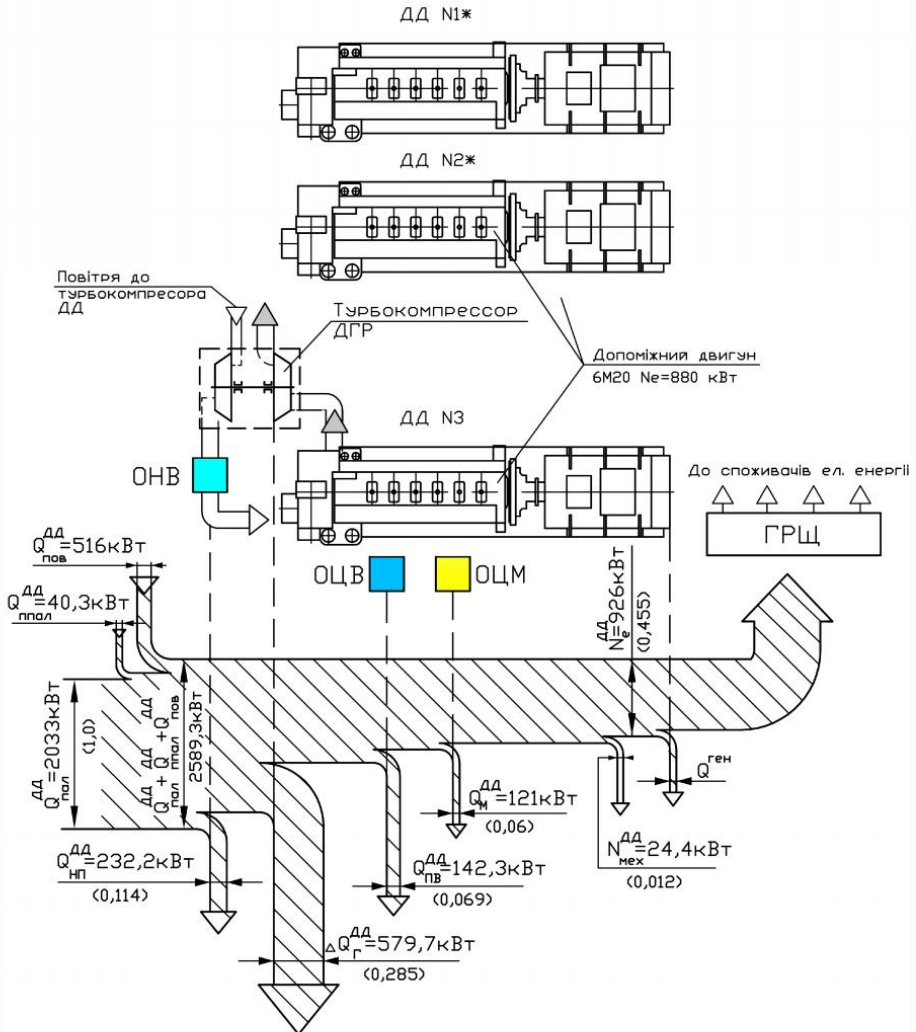


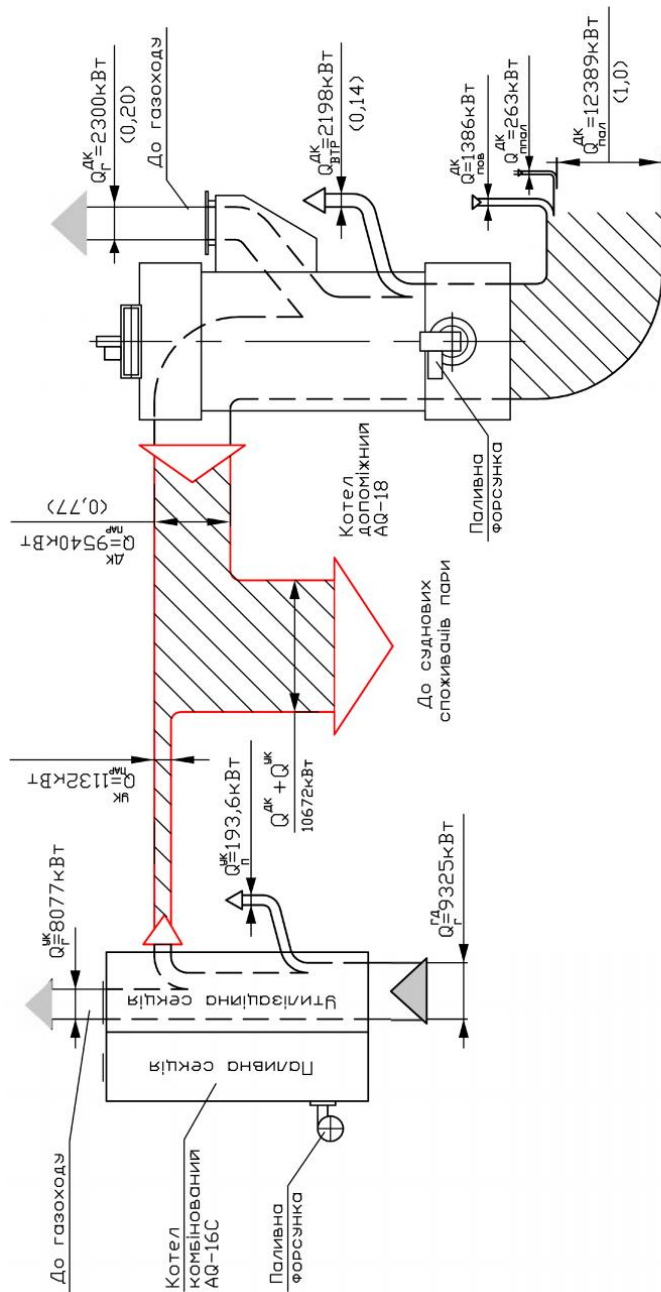
СХЕМА ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДОПОМІЖНОГО ДВИГУНА 6М20 ТАНКЕРА $D = 40\,800\text{ т}$, $N_e = 8100\text{ кВт}$



* В ходовому режимі з розігрівом вантажу працює один допоміжний двигун

СХЕМА ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДОПОМІЖНОГО ТА УТИЛІЗАЦІЙНОГО КОТЛІВ

ТАНКЕРА $D = 40\,800\text{ т}$, $N_e = 8100\text{ кВт}$



ТАБЛИЦЯ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Означення	Найменування	Примітки
ГД	Головний двигун	
ДД	Допоміжний двигун	
ДК	Допоміжний котел	
ОУ	Опріснювальна установка	
ОНП	Охолоджувач наддувного повітря	
ОЦВ	Охолоджувач циркуляційної води	
ОЦМ	Охолоджувач циркуляційного масла	
N	Механічна потужність	
Q	Теплова потужність	
P	Електрична потужність	
	Паливо	
	Циркуляційне масло	
	Охолоджуюча прісна вода	
	Охолоджуюча забортна вода	
	Пускове повітря	
	Пар	
	Випускні гази	

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Ваншейдт В.А.* Судовые установки с двигателями внутреннего сгорания. — Л. : Судостроение, 1978. — 368 с.
2. *Ткаченко С.Г., Наливайко В.С., Хоменко В.С.* Теорія двигунів внутрішнього згорання : Навчальний посібник. Програма, методичні вказівки та контрольні завдання для студентів заочної форми навчання. — Миколаїв : УДМТУ, 2001. — 56 с.
3. *Горбов В.М., Слаутіна Т.Г., Січкарюк О.В.* Методичні вказівки до вивчення дисципліни «Суднові енергетичні установки» для студентів заочної форми навчання. — Миколаїв : УДМТУ, 2004. — 52 с.
4. General Technical Data for WinGD two stroke engines [Electronic resource]. — Mode of access : <https://www.wingd.com/en/media/general-technical-data>.
5. CEAS Engine Calculations [Electronic resource]. — Mode of access : <http://marine.man.eu/two-stroke/ceas>.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Вихідні дані для розрахунку	4
2. Розрахунок енергетичного балансу головного двигуна 5RT-flex50	6
2.1. Витрата палива ГД при специфікаційній потужності	6
2.2. Витрати повітря, яке потрапляє до ГД	6
2.3. Витрати газів, що залишають ГД	6
2.4. Тиск наддувного повітря	6
2.5. Температура наддувного повітря після компресора	7
2.6. Складові енергетичного балансу головного двигуна	7
2.7. Перевірка рівняння енергетичного балансу головного двигуна	9
3. Розрахунок енергетичного балансу допоміжного двигуна 6M20	10
3.1. Потужність допоміжного двигуна	10
3.2. Витрата палива ДД при специфікаційній потужності	10
3.3. Витрати повітря, яке потрапляє до ДД	10
3.4. Витрати газів, що залишають ДД	10
3.5. Тиск наддувного повітря	10
3.6. Температура наддувного повітря після компресора	11
3.7. Складові енергетичного балансу допоміжного двигуна	11
3.8. Перевірка рівняння енергетичного балансу допоміжного двигуна	13
4. Розрахунок енергетичного балансу утилізаційного котла	14
4.1. Розрахунок можливої паропродуктивності утилізаційного котла	14
4.2. Теплова потужність, що витрачена для одержання насиченої пари	14
4.3. Теплова потужність, яку мають гази після УК	14
4.4. Енергетичний баланс УК	15
4.5. Коефіцієнт використання тепла в УК	15
5. Розрахунок енергетичного балансу допоміжного котла	15
5.1. Необхідна кількість пари, яку виробляє допоміжний котел AQ-9 для ходового режиму з розігрівом вантажу з урахуванням паропродуктивності УК	15
5.2. Теплова потужність, що виділилась при спалюванні палива в ДК	15
5.3. Теплова потужність пари яка виробляється в ДК	16
5.4. Витрата палива допоміжним котлом для видобутку пари в заданому режимі	16
5.5. Кількість повітря для згоряння палива в допоміжному котлі	16

5.6. Кількість випускних газів допоміжного котла	16
5.7. Теплова потужність відпрацьованих газів допоміжного котла . . .	16
5.8. Теплова потужність, з якою потрапляє паливо в ДК після його підігріву	16
5.9. Теплова потужність повітря, яке подається до форсунки котла . . .	16
5.10. Енергетичний баланс допоміжного котла	16
6. Розрахунок перетворення механічної потужності головного двигуна в механічну потужність упора гвинта.	17
Додаток 1. Схема енергетичного балансу головного двигуна 5RT-flex50 .	18
Додаток 2. Схема енергетичного балансу допоміжного двигуна 6M20 . . .	19
Додаток 3. Схема енергетичного балансу допоміжного та утилізаційного котлів	20
Додаток 4. Таблиця означень	21
Використана література.	22