

УДК 621.181.2

DOI [https://doi.org/10.15589/znп2023.2-3\(491-492\).6](https://doi.org/10.15589/znп2023.2-3(491-492).6)**ALTERNATIVE OPTIONS FOR COMPLETING THE HEAT-GENERATING COMPLEX OF A MEDIUM-TONNAGE TANKER****АЛЬТЕРНАТИВНІ ВАРІАНТИ КОМПЛЕКТАЦІЇ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО КОМПЛЕКСА СЕРЕДНЬОТОНАЖНОГО ТАНКЕРА****Mykola S. Bondarenko**
bondarenko.nikola2308@gmail.com**Mariia O. Hotsulyak****Olha S. Yeleonska****М. С. Бондаренко,**
канд. техн. наук, доцент**М. О. Гоцуляк,**
викладачка**О. С. Єлеонська,**
викладачка

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The improvement of the performance indicators of the power plant of the tanker pr. 15966 can be realized by more complete utilization of the heat of the supercharged air of the main engine and reducing the parameters of the steam generated by the auxiliary boiler plant.

Traditionally, on a tanker, the heat of the supercharged air is utilized by turning on a high-temperature air cooler to heat the feed water of the utilization steam generator. The efficiency of such a solution is very low, which is associated with a relatively small consumption of feed water, since the productivity of the steam generator is about 1.0 t/h.

The basic version of the auxiliary boiler installation also has a significant drawback - the steam parameters (steam pressure 7 bar, temperature 165°C) are accepted under the condition of ensuring the operation of the final heater of heavy fuel, the only steam consumer of such potential on the ship, and the steam consumption for it is only 110 kg/hours. The productivity of the boiler plant can be reduced when generating steam with a pressure of up to 4 bar with a saturation temperature of 144°C, which is sufficient to power other on-board thermal energy consumers, and using a separate heat carrier source for the final fuel heater.

Considered schemes of using an auxiliary utilization steam generator in the charge air circuit and a thermal oil boiler to power the heavy fuel heater before it is fed to the main engine. The separate supply of coolants for the fuel heater and other heat energy consumers makes it possible to reduce the parameters of the steam generated by the auxiliary boiler plant, to reduce its load and the total fuel consumption of the ship's power plant. The proposed solutions make it possible to increase the efficiency of the ship's power plant without significant structural changes, do not require significant capital investments and can be implemented in the process of factory repair of the ship.

Key words: thermal scheme; auxiliary boiler installation; steam parameters; utilization steam generator; thermo-oil boiler; three-section charge air cooler; reduction of boiler fuel consumption; payback period; limit price.

Анотація. Поліпшення експлуатаційних показників енергетичної установки танкера пр. 15966 може бути реалізоване шляхом більш повної утилізації тепла наддувного повітря головного двигуна та зниження параметрів пари, що генерує допоміжна котельна установка.

За традицією на танкері тепло наддувного повітря утилізується включенням високотемпературного охолодника повітря для підігріву живильної води утилізаційного парогенератора. Ефективність такого рішення дуже низька, що пов'язано з порівняно малою витратою живильної води, так як продуктивність парогенератора складає близько 1,0 т/год.

Базовий варіант комплектації допоміжної котельної установки також має істотний недолік – параметри пари (тиск пари 7 бар, температура 165°C) прийняті за умови забезпечення роботи кінцевого підігрівника важкого палива, єдиного на судні споживача пари такого потенціалу, причому витрата пари на нього складає усього 110 кг/год. Продуктивність котельної установки може бути зменшеною при генеруванні пари тиском до 4 бар з температурою насичення 144°C, достатньою для живлення інших суднових споживачів теплової енергії, та використанні окремого джерела теплоносія для кінцевого підігрівника палива.

Розглянуті схеми використання допоміжного утилізаційного парогенератора в контурі наддувного повітря та

термомасляного котла для живлення підігрівника важкого палива перед його подачею до головного двигуна. Роздільне постачання теплоносіїв для підігрівника палива і інших споживачів теплової енергії дає можливість знизити параметри пари, що генерує допоміжна котельна установка, знизити її навантаження і загальні витрати палива на суднову енергетичну установку. Пропоновані рішення дозволяють підвищити ефективність суднової енергетичної установки без суттєвих конструктивних її змін, не потребують значних капіталовкладень і можуть бути реалізовані в процесі заводського ремонту судна.

Ключові слова: тепла схема; допоміжна котельна установка; параметри пари; утилізаційний парогенератор; термо-масляний котел; трисекційний охолодник наддувного повітря; зниження витрат котельного палива; строк окупності; лімітна ціна.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Одним із напрямків удосконалення головних суднових малооборотних двигунів є підвищення ступеню наддуву, що супроводжується значним ростом температури повітря після компресора газотурбонагнітача (до 200...220°C) і втрат в охолоджувачі наддувного повітря (до 14...16% від кількості тепла, що виділяється при згорянні палива). Традиційно, в тому числі і на танкері пр. 15966, тепло наддувного повітря утилізується включенням високотемпературного охолодника повітря для підігріву живильної води утилізаційного парогенератора (УПГ). Ефективність такого рішення дуже низька, що пов'язано з порівняно малою витратою живильної води – продуктивність УПГ складає 1,0...1,5 т/год.

Дослідження присвячене аналізу можливості підвищення енергетичної ефективності установки за рахунок більш глибокої утилізації тепла наддувного повітря та вибору раціональних параметрів теплоносіїв теплогенеруючої установки.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Виконаний аналіз публікацій вітчизняних і зарубіжних авторів та проектних розробок світових лідерів виробників суднового енергетичного обладнання показав існування величезної кількості схемних рішень та технологій глибокої утилізації вторинних енергоресурсів суднових дизельних енергетичних установок (теплоти відпрацьованих газів, наддувного повітря, охолоджуючої води двигунів) з використанням компаундних установок, теплових насосів, гідропарових турбін тощо [1]. Це підтверджує актуальність даного дослідження.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

В роботі розглянуті практичні питання реалізації технічних рішень щодо модернізації теплогенеруючого комплексу середньотоннажного танкера пр. 15966, які можуть бути використанні також при побудові однотипних суден.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є аналіз можливості підвищення енергетичної ефективності установки за рахунок більш глибокої утилізації тепла наддувного

повітря та вибору раціональних параметрів пари допоміжної котельної установки.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використані теплобалансні розрахунки виробітку та споживання теплової енергії на середньотоннажному танкері пр. 15966 в реальних умовах експлуатації при різних схемах комплектації теплогенеруючого устаткування.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Аналіз проектних рішень. Для забезпечення танкера тепловою енергією використовується два допоміжних автоматизованих котла (ДК) з природною циркуляцією номінальною продуктивністю 8 т/год. насиченої пари тиском 7 бар. Для утилізації тепла відхідних газів головного двигуна (ГД) використано утилізаційний парогенератор (УПГ) вертикальний, водотрубний з примусовою циркуляцією та іскрогасником. Його продуктивність при експлуатаційній потужності ГД 7940 кВт становить близько 1,1 т/год. насиченої пари тиском 7 бар. Система допоміжної пари забезпечує живлення всіх споживачів (табл. 1) від любого котла при одиночній чи сумісній їх роботі [2].

В тепловій схемі суднової ЕУ часто використовують підігрів живильної води, що поступає із теплового ящика до сепаратора УПГ у високотемпературній секції охолодника наддувного повітря. Так як продуктивність УПГ порівняно невелика, утилізується при цьому незначна кількість тепла наддувного повітря – температура знижується на 10...15°C.

Пропоноване рішення 1. Для більш повної утилізації тепла наддувного повітря пропонується використати замість високотемпературної секції охолодника наддувного повітря утилізаційний парогенератор УПГ ОНВ для постачання насиченою парю деяких споживачів МКВ та знизити навантаження на ДК (рис. 1).

Для визначення можливої продуктивності УПГ ОНВ прийнята наступна вхідна інформація:

експлуатаційна потужність головного двигуна 6ДКРН 60/195-10 на ходовому режимі – $N_e = 7150$ кВт;

питома витрата важкого палива на режимі – $b_e = 0,186$ кг/(кВт×год.)

Таблиця 1. Витрати пари, кг/год., на ходових режимах (ХР) танкера (проектні дані [1])

Споживачі пари	Холодна зона				Тепла зона			
	ХР з вантажем		ХР в баласті		ХР з вантажем		ХР в баласті	
	Підтримка t вантажу	Підігрів вантажу	Підтримка t баласту	Мийка танків	Підтримка t вантажу	Підігрів вантажу	Підтримка t баласту	Мийка танків
1. Грілки парового опалення	155	155	155	155	–	–	–	–
2. Система кондиціювання	590	590	590	590	–	–	–	–
3. Отоплювальні агрегати МКВ	–	–	–	–	–	–	–	–
4. Загально суднова вентиляція (підігрів)	160	160	160	160	–	–	–	–
5. Підігрівачі заборотної води і їх продувка	(75)	(75)	(75)	(75)	–	–	–	–
6. підігрівачі мийної води	185	185	185	185	150	150	150	150
7. підігрівачі питної води	70	70	70	70	55	55	55	55
8. Система вентиляції ВНВ	440	440	440	440	–	–	–	–
Разом по станції господарських потреб:	1600	1600	1600	1600	205	205	205	205
9. Система обігріву вантажних танків	2600	10890	–	8070	380	7880	–	–
10. Система обігріву відстійних танків	–	–	1450	2360	–	–	–	2400–
11. Система мийки танків	–	–	–	–	–	–	–	2360–
12. Зачисні насоси	–	–	–	–	–	–	–	–
13. Система обігріву баластних танків	–	–	2400	900	–	–	–	–
Разом по вантажному комплексу:	2600	10890	3850	11330	380	7880	–	4760
14. Цистерни запасу важкого палива	400	400	400	400	330	330	330	330
15. Відстійна цистерна важкого палива ГД	175	175	175	175	140	140	140	140
16. Витратна цистерна важкого палива ГД	66	66	66	66	66	66	66	66
17. Підігрівач важкого палива ГД	110	110	110	110	110	110	110	110
18. Підігрівач системи сепарації палива	80	80	80	80	80	80	80	80
19. Підігрівач системи сепарації масла	46	46	46	46	46	46	46	46
20. Витратна цистерна котельного палива	42	42	42	42	21	21	21	21
21. Сепаратор льяльних вод	(640)	(640)	(640)	(640)	(640)	(640)	(640)	(640)
22. Цистерна льяльних вод	580	580	580	580	–	–	–	–
23. Цистерна мийної води	50	50	50	50	–	–	–	–
24. Цистерна котельної води	16	16	16	16	–	–	–	–
25. Система вентиляції МКВ	1280	1280	1280	1280	–	–	–	–
Разом по споживачах МКВ:	2265	2265	2265	2265	793	793	793	793
Загалом по судну	6465	14755	7715	15195	1378	8878	998	5758

температура наддувного повітря на виході із компресора ГТН (вході в УПГ ОНВ) – $t_1 = 200^\circ\text{C}$;

температура наддувного повітря на виході із УПГ ОНВ – $t_2 = 80^\circ\text{C}$

температура насиченої пари, що продукується УПГ ОНВ – $t_{\text{п}} = 165^\circ\text{C}$;

тиск насиченої пари – $P_{\text{упг2}} = 7$ бар (аналогічний ДКУ базового судна);

ентальпія насиченої пари (функція тиску пари $P_{\text{упг2}}$ на лінії насичення) – $I_{\text{п}} = 2763$ кДж/кг;

температура живильної води на виході із теплового ящика – $t_{\text{жв}} = 60^\circ\text{C}$;

ентальпія живильної води – $i_{\text{жв}} = 251$ кДж/кг;

середня ізобарна теплоємність повітря в процесі його охолодження в УПГ-2 – $c_{\text{пов}} = 1,005$ кДж/кг;

сумарний коефіцієнт надлишку повітря в ГД – $\alpha_{\Sigma} = 3,4$;

коефіцієнт збереження тепла в УПГ ОНВ – $\zeta_{\text{упг}} = 0,98$;

теоретична необхідна кількість повітря для згоряння одного кілограма важкого палива – $L_0 = 14,3$ кг/кг;

Витрату повітря на головний двигун, кг/с, при його експлуатаційному навантаженні можна визначити як

$$G_{\text{пов}} = Ne \times be \times (1 + \alpha_{\Sigma} \times L_0) / 3600 = 0,186 \times 7150 (1 + 3,4 \times 14,3) / 3600 = 18,33.$$

Кількість теплоти, кВт, що віддає наддувне повітря в УПГ-2:

$$Q_{\text{упг ОНВ}} = G_{\text{пов}} \times c_{\text{пов}} \times (t_1 - t_2) = 18,33 \times 1,005 \times (200 - 80) = 2210.$$

Паропродуктивність УПГ ОНВ визначається із рівняння його теплового балансу:

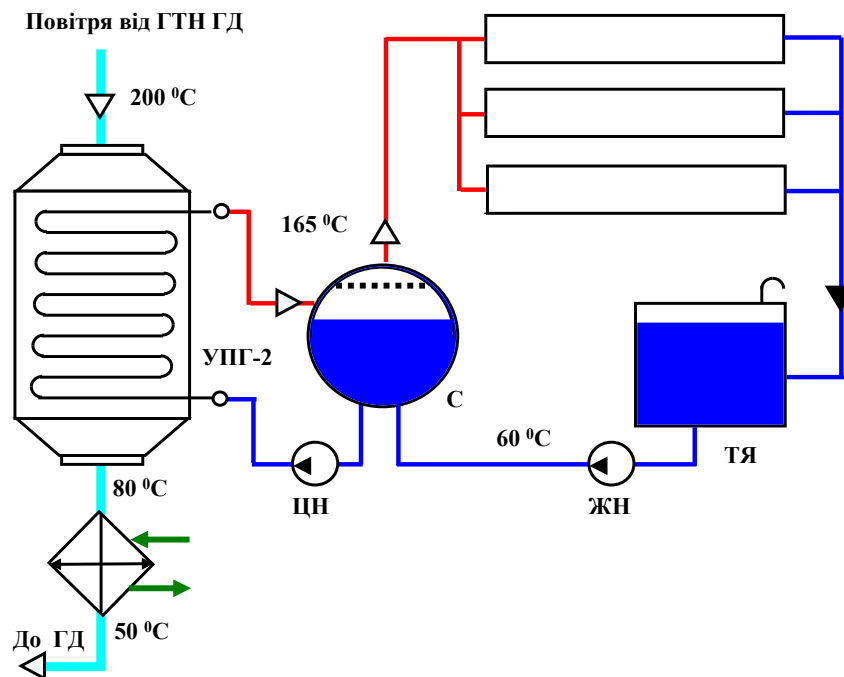


Рис. 1. Схема контуру утилізації тепла наддувного повітря

$$D_{\text{УПГ ОНВ}} = \zeta_{\text{УПГ}} \times Q_{\text{УПГ ОНВ}} / (I_{\text{П}} - i_{\text{ЖВ}}) = 0,98 \times 2210 / (2763 - 251) = 0,862 \text{ кг/с};$$

або $D_{\text{УПГ ОНВ}} = 3100 \text{ кг/год.}$

Включення до складу допоміжної котельної установки УПГ ОНВ зменшує навантаження на допоміжні котли на ходових режимах роботи судна. Економія котельного палива, кг/год., при цьому може скласти:

$$\Delta B_{\text{П}} = D_{\text{УПГ ОНВ}} (I_{\text{П}} - i_{\text{ЖВ}}) / (Q_{\text{РН}} \times \eta_{\text{ДК}}) = 3100 \times (2763 - 251) / (40000 \times 0,87) = 224,$$

де $Q_{\text{РН}} = 40000 \text{ кДж/кг}$ – робоча нижча теплота згоряння котельного (важкого) палива;

$\eta_{\text{ДК}} = 0,87$ – ККД допоміжного котла.

Для визначення економічного ефекту від використання УПГ ОНВ в складі теплогенеруючого комплексу умовно прийнята наступна схема експлуатації танкера:

середньорічний період експлуатації танкера – $\tau_{\text{Е}} = 330$ діб;

частка ходового часу, коли ГД працює при експлуатаційному навантаженні $\bar{\tau}_{\text{ХР}} = 0,70$;

частка часу використання допоміжних котлів на ходовому режимі судна (з урахуванням ймовірності переходів у холодний і теплий зонах, роботи систем підігріву вантажу та мийки танків і їх тривалості тощо) прийнята $\bar{\tau}_{\text{ДК}} = 0,8$.

Середньорічна економія котельного палива при цьому складатиме

$$\Delta B_{\text{ПР}} = 10^{-3} \times 24 \times \tau_{\text{Е}} \times \bar{\tau}_{\text{ХР}} \times \bar{\tau}_{\text{ДК}} \times \Delta B_{\text{П}} = 10^{-3} \times 24 \times 330 \times 0,7 \times 0,8 \times 224 = 993 \text{ т.}$$

Таким чином, річна економія витрат на паливо для котельної установки при ціні на мазут $\text{Ц}_{\text{М}} = 370$ дол. США може скласти

$$\Delta 3_{\text{П}} = 10^{-3} \times \Delta B_{\text{ПР}} \times \text{Ц}_{\text{М}} = 10^{-3} \times 993 \times 370 = 367 \text{ тис. дол. США.}$$

При строку окупності капіталовкладень $T_{\text{ОК}} = 7$ років лімітна ціна такої модернізації допоміжної котельної установки танкера

$$\text{Ц}_{\text{Лім}} = 10^{-3} \times \Delta 3_{\text{П}} \times T_{\text{ОК}} = 10^{-3} \times 7 \times 367 = 2,6 \text{ млн. дол. США.}$$

Висновки по рішенняню 1. Запропонований варіант модернізації допоміжної котельної установки танкера не потребує реконструкції теплообмінників, параметри пари, що генерує УПГ ОНВ, відповідають базовим.

УПГ ОНВ змієвикового типу достатньо простої конструкції, має аналоги використання в судновій енергетиці [3], може бути встановлений замість високотемпературної секції охолодника наддувного повітря під час проведення заводського ремонту судна. Цілком ймовірно, що капітальні затрати на реалізацію такого варіанту модернізації не перевищать лімітну ціну.

Базовий варіант комплектації ДКУ має істотний недолік – параметри пари прийняті за умови забезпечення роботи кінцевого підігрівника важкого палива (КПВП) єдиного на судні споживача пари такого потенціалу, при чому витрата пари на нього складає усього 110 кг/год. (див. табл. 1). ДКУ може бути

спрощеною при генеруванні пари тиском до 4 бар та використанні окремого джерела теплоносія для КПВП.

Пропоноване рішення II. З метою удосконалення системи постачання тепловою енергією танкера пропонується для живлення усіх споживачів (окрім кінцевого підігрівника важкого палива ГД) використовувати насичену пару тиском 4 бар, яка має більшу приховану теплоту пароутворення, що приведе до зменшення витрат гріючої пари. Включити до складу системи охолодження наддувного повітря термо-масляний контур та утилізаційний парогенератор. Таким чином, система теплопостачання танкера включатиме наступне обладнання (рис. 2): допоміжні котли, утилізаційний парогенератор головного двигуна (УПГ ГД), термо-масляний контур (ТМК) для живлення КПВП, утилізаційний парогенератор охолодника наддувного повітря (УПГ ОНП).

Для визначення можливої продуктивності УПГ ГД при генеруванні насиченої пари тиском 4 бар прийнята наступна вхідна інформація:

тиск насиченої пари – $P_{\text{УПГ ГД}} = 4$ бар;

температура насиченої пари – $t_{\text{П}} = 143,6^{\circ}\text{C}$;

ентальпія насиченої пари – $I_{\text{П}} = 2738,5$ кДж/кг;

температура живильної води на виході із теплового

ящика – $t_{\text{ЖВ}} = 60^{\circ}\text{C}$;

ентальпія живильної води – $i_{\text{ЖВ}} = 251$ кДж/кг;

Витрата палива на головний двигун

$$B_{\text{ПАЛ}} = Ne \times be / 3600 = 7150 \times 0,186 / 3600 = 0,3694 \text{ кг/с.}$$

Витрата повітря на головний двигун

$$G_{\text{ПОВ}} = Ne \times be (1 + \alpha_{\Sigma} \times L_0) / 3600 = 7150 \times 0,186 (1 + 3,4 \times 14,3) / 3600 = 18,33 \text{ кг/с.}$$

Витрата відхідних газів головного двигуна

$$G_{\text{ВГ}} = B_{\text{ПАЛ}} + G_{\text{ПОВ}} = 0,37 + 18,33 = 18,7 \text{ кг/с.}$$

Розрахункову продуктивність УПГ ГД визначимо із рівняння його теплового балансу:

$$D_{\text{УПГ ГД}} = \zeta_{\text{УПГ}} \times G_{\text{ВГ}} \times c_{\text{ар}} \times (t_{\text{Г}} - t_{\text{ВГ}}) / (I_{\text{П}} - i_{\text{ЖВ}}) = 0,98 \times 18,7 \times 1,03 \times (230 - 190) / (2738,5 - 251) = 0,3035 \text{ кг/с; (1092 кг/год.)}$$

Прийнято $D_{\text{УПГ ГД}} = 1$ т/год.

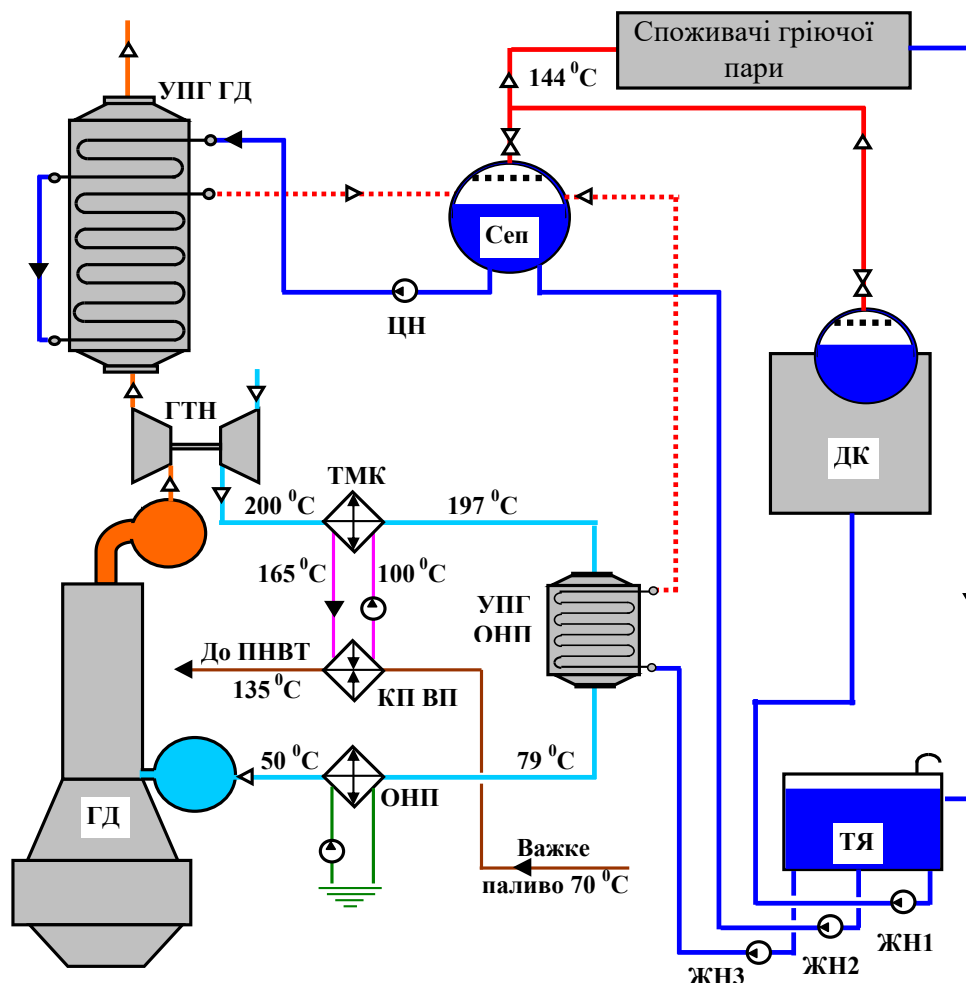


Рис. 2. Теплова схема (варіант II)

Теплова потужність кінцевого підігрівача важкого палива для ГД, кВт

$$Q_{\text{кппв}} = B_{\text{кппв}} \times c_{\text{вп}} (t_{\text{п1}} - t_{\text{п2}}) / 3600 = 1369 \times 2,0 (135 - 70) / 3600 = 50,$$

де $B_{\text{кппв}} = 1369$ кг/год. – витрата палива на КППВ (проектні дані);

$c_{\text{вп}} = 2,0$ кДж/(кг×град.) – питома теплоємність важкого палива;

$t_{\text{п1}}, t_{\text{п2}}$ – температура палива на виході/вході в КППВ, відповідно, 135/70°C.

Температура наддувного повітря на вході в теплообмінник КППВ (за компресором ГТН), °C

$$t_{\text{нп1}} = (t_{\text{вх}} + 273) [1 + (\pi_K^{0,286} - 1) / \eta_K] - 273 = (37 + 273) [1 + (3,3^{0,286} - 1) / 0,77] - 273 = 200,$$

де $t_{\text{вх}} = 37^\circ\text{C}$ – температура повітря на вході в компресор ГТН;

$\pi_K = 3,3$ – ступінь підвищення тиску в компресорі;

$\eta_K = 0,77$ – адиабатний ККД компресора

Температура наддувного повітря на виході з теплообмінника термо-масляного контуру (див. рис. 2)

$$t_{\text{нп2}} = t_{\text{нп1}} - Q_{\text{кппв}} / (G_{\text{пов}} \times c_{\text{пов}} \times \zeta_{\text{тмк}}) = 200 - 50 / (18,3 \times 1,005 \times 0,98) = 197^\circ\text{C}.$$

Витрати теплоносія (масла) в термо-масляному контурі

$$G_{\text{тмк}} = Q_{\text{кппв}} / (c_m \times (t_{\text{м1}} - t_{\text{м2}})) = 50 / (1,9 (165 - 100)) = 0,405 \text{ кг/с}; (1460 \text{ кг/год.})$$

Тут $c_m = 1,9$ кДж/(кг град.) – питома теплоємність масла; $t_{\text{м1}}, t_{\text{м2}}$ відповідно температура масла на виході/вході в КППВ, 165/100°C.

Кількість теплоти, кВт, що віддає наддувне повітря в УПГ ОНП:

$$Q_{\text{упг ОНП}} = G_{\text{пов}} \times c_{\text{пов}} \times (t_{\text{нп2}} - t_{\text{нп3}}) = 18,3 \times 1,005 \times (197 - 79) = 2170,$$

де $t_{\text{нп2}} = 197^\circ\text{C}$; $t_{\text{нп3}} = 79^\circ\text{C}$ – відповідно, температура повітря на вході/виході в УПГ ОНП.

$$D_{\text{упг ОНП}} = \zeta_{\text{упг}} \times Q_{\text{упг ОНП}} / (I_{\text{п}} - i_{\text{жв}}) = 0,98 \times 2170 / (2738,5 - 251) = 0,848 \text{ кг/с};$$

або $D_{\text{упг ОНП}} = 3050$ кг/год. Прийнято $D_{\text{упг ОНП}} = 3$ т/год.

Тут $I_{\text{п}}, i_{\text{жв}}$ – відповідно ентальпія пари, що продукується в УПГ ОНВ, та живильної води: $I_{\text{п}} = 2738,5$ кДж/кг (насичена пара тиском 4 бар); $i_{\text{жв}} = 251$ кДж/кг (при температурі води 60°C).

Розрахунок парового навантаження котельної установки танкера виконаний для холодної і теплої зони, результати наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Навантаження теплогенеруючого комплексу

Споживання пари, т/год., тиском 7 бар на експлуатаційних режимах судна												
Споживачі пари		Холодна зона				Тепла зона				Стоянка в холодній зоні		
		З вантажем		В баласті		З вантажем		В баласті				
		Підтримка температури вантажу	Підігрів вантажу	Підтримка температури баласту	Мийка танків	Підтримка температури вантажу	Підігрів вантажу	Підтримка температури баласту	Мийка танків	під розвантаженням	під навантаженням	Мийка танків
1. Господарські потреби		1,60	1,60	1,60	1,60	0,21	0,21	0,21	0,21	1,60	1,60	1,60
2. Вантажний комплекс		2,60	10,89	3,85	11,33	0,38	7,88	–	4,76	8,50	–	9,24
3. Споживачі МКВ		2,27	2,27	2,27	2,27	0,79	0,79	0,79	0,79	1,00	1,00	1,00
Разом по судну	т/год.	6,47	14,76	7,72	15,20	1,38	8,88	1,00	5,76	11,10	2,60	11,90
	кВт*	3,71	8,47	4,43	8,72	0,79	5,10	0,57	3,31	6,37	1,49	6,83
Споживання пари $P = 4$ бар, т/год. в цілому по судну												
Без роботи ТМК		6,26	14,29	7,47	14,71	1,33	8,60	0,97	0,56	10,75	2,52	11,52
При роботі ТМК		6,15	14,18	7,36	14,60	1,23	8,49	0,86	5,47	10,64	2,41	11,41
Навантаження модернізованого теплогенеруючого комплексу												
КАВ 6/4		3,15	10,18	4,36	10,60	–	4,49	–	1,47	2ДК	1ДК	2ДК
УПГ ГД		–	1,00	–	1,00	–	1,00	–	1,00	–	–	–
УПГ ОНВ		3,00	3,00	3,00	3,00	1,23	3,00	0,86	3,00	–	–	–
ТМК		+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–
По відношенню до базового варіанту		0,49	0,69	0,30	0,70	0	0,51	0	0,26	–	–	–

*) Прийнято, що у споживачах використовується тільки прихована теплота пароутворення гріючої пари, тоді споживана потужність визначиться як $Q = D \times r / 3600$; для пари тиском 7 бар $r = 2066$ кДж/кг; для пари тиском 4 бар $r = 2133,8$ кДж/кг.

Виконані розрахунки визначили склад та характеристики основного обладнання модернізованого теплогенеруючого комплексу танкера пр. 15966:

два допоміжних котла типу КАВ 6/4 паропроductивністю 6000 кг/год. насиченої пари тиском 4 бар;

один утилізаційний парогенератор, що використовує теплоту відхідних газів ГД продуктивністю 1000 кг/год. насиченої пари тиском 4 бар;

один утилізаційний парогенератор, що використовує теплоту наддувного повітря продуктивністю 3000 кг/год. насиченої пари тиском 4 бар;

термо-масляний контур (котел) для живлення кінцевого підігрівача важкого палива (50 кВт, температура масла 165°C).

Висновок по рішенню II. Включення до складу теплогенеруючої установки танкера УПГ ОНП, термомасляного котла та перехід на знижені параметри теплоносія зменшує установлену продуктивність допоміжних котлів і їх навантаження на ходових режимах роботи судна порівняно з базовим варіантом в 2...3 рази (див. табл. 2), що забезпечує відповідну економію котельного палива.

REFERENCES

- [1] Danilian A.H., Chymshyr V.I., Vlasov I.V., Naidenov A.I. (2016). Novye napravleniia hlubokoi utylizatsii tepla sudovykh dizelei [New directions of deep heat utilization of marine diesels]. *Visnyk ONMU – Bulletin of ONMU*, 3 (49), 91-102.
- [2] Raschet parovoi nahrutki kotelnoi ustanovki. Vybor kotloagregatov i kondensatsionnoi ustanovki [Calculation of the steam load of the boiler plant. Selection of boilers and condensing units. Design documentation]. *Konstruktorskaia dokumentatsiia*. 15966–024–012. N.p.
- [3] Yepifanov O.A. (2016). *Konstruktsii sudnovykh kotliv [Designs of ship boilers]*. Mykolaiv: NUK.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Данилян А.Г., Чимшир В.И., Власов И.В., Найденев А.И. (2016). Новые направления глубокой утилизации тепла судовых дизелей. *Вісник ОНМУ*. №3 (49). С. 91-102.
- [2] Расчет паровой нагрузки котельной установки. Выбор котлоагрегатов и конденсационной установки. Конструкторская документация. 15966 – 024 – 012.
- [3] Єпіфанов О. А. (2016). Конструкції суднових котлів: навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 198 с.

© Бондаренко М. С., Гоцуляк М. О., Єлеонська О. С.
Дата надходження статті до редакції: 08.06.2023
Дата затвердження статті до друку: 23.06.2023