

health. Reducing the amount of harmful emissions and their toxicity is a complex scientific and technical problem. The need to solve it is dictated by regulatory requirements that are becoming more stringent. More often, their implementation is accompanied by a decrease in the economic and energy performance of engines.

Keywords: exhaust gases, internal combustion engine, fuel consumption, absorption refrigerator.

УДК: 621.181.2

МОДЕРНІЗАЦІЯ ДОПОМІЖНОЇ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ТАНКЕРА YEVGENIY TITOV

Підвисоцький М.В.

магістр гр.6214мз, НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Бондаренко М.С.

к.т.н., доцент кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ

Єлеонська О.С.

*викладачка кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Розглянуті питання поліпшення експлуатаційних показників енергетичної установки танкера YEVGENIY TITOV шляхом більш глибокої утилізації тепла наддувного повітря головного двигуна.

Ключові слова. утилізаційний парогенератор, теплота наддувного повітря, теплова схема, зниження витрат котельного палива, строк окупності, лімітна ціна.

Актуальність. Дослідження присвячене аналізу можливості підвищення енергетичної ефективності установки – більш повного використання теплоти, що виділяється при згорянні палива в теплових двигунах.

Традиційними методами підвищення ефективності використання палива і скорочення його витрат є утилізація вторинних енергетичних ресурсів: теплоти відпрацьованих газів, наддувного повітря, охолоджуючої води двигунів [1].

Одним із напрямків удосконалення головних суднових малообертових 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). Утилізація цього тепла може значно поліпшити економічність суднової енергетичної установки.

Проектне рішення. Для забезпечення танкера YEVGENIY TITOV 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.

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. Його температура знижується на 10...15°C.

Пропоноване рішення. 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.).

Для визначення можливої продуктивності УПГ ОНВ прийнята наступна вхідна інформація:

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

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

температура наддувного повітря на виході із компресора ГТН (вході в УПГ ОНВ) – $t_1 = 200$ °С;

температура наддувного повітря на виході із УПГ ОНВ – $t_2 = 80$ °С

температура насиченої пари, що продукується УПГ ОНВ – $t_{\text{п}} = 165$ °С;

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 – $t_{\text{жв}} = 60$ °С;

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

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

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

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

Паропроодуктивність УПГ ОНВ визначається із рівняння його теплового балансу:

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

або $D_{\text{УПГ ОНВ}} = 3100$ 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 $Q_{\text{РН}} = 40000$ 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:

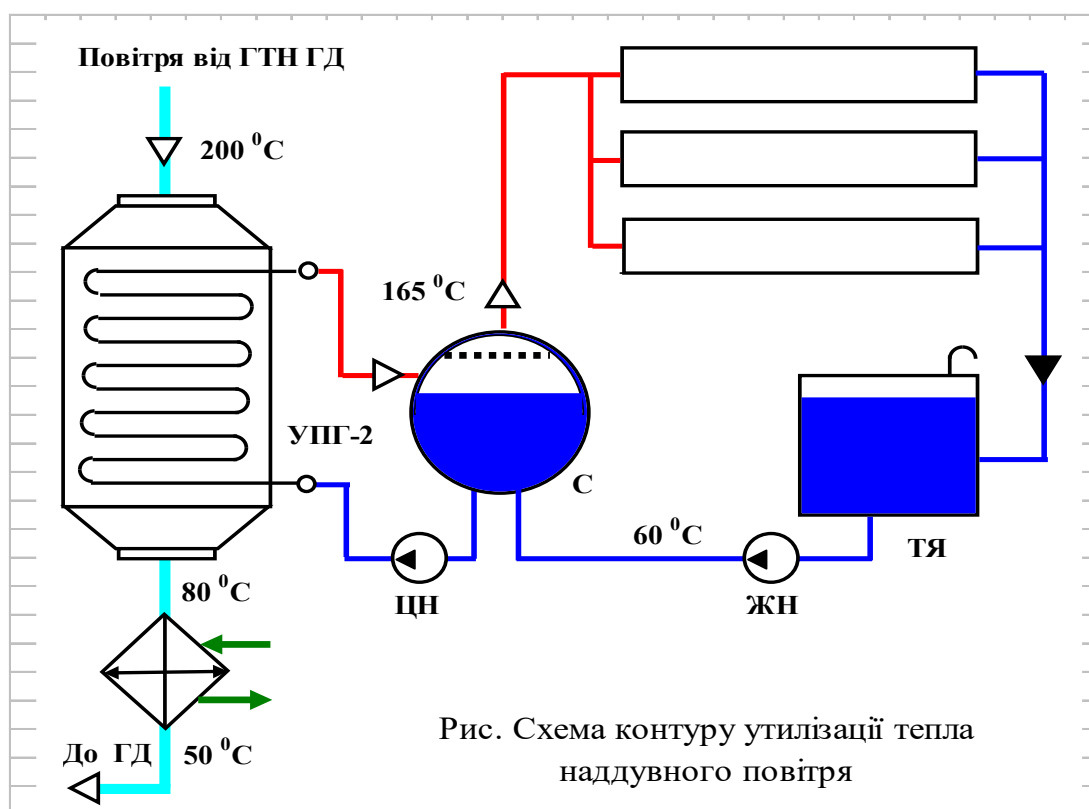
середньорічний період експлуатації танкера – $\tau_{\text{Е}} = 330$ діб;

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 холодній і теплій зонах, роботи систем підігріву вантажу та мийки танків і їх тривалості тощо) прийнята $\bar{\tau}_{\text{ДК}} = 0,8$.

Таблиця витрат пари, кг/год., на ходових режимах (ХР) судна

Споживачі пари	Холодна зона				Тепла зона			
	ХР 3 вантажем		ХР в баласті		ХР 3 вантажем		ХР в баласті	
	Підтримка / вантажу	Підігрів вантажу	Підтримка / баласту	Мийка танків	Підтримка / вантажу	Підігрів вантажу	Підтримка / 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 забортної 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 споживачам МКВ:	2265	2265	2265	2265	793	793	793	793
Загалом по судну	6465	14755	7715	15195	1378	8878	998	5758



Середньорічна економія котельного палива при цьому складатиме

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

Вартість метричної тонни високосірчастого суднового мазуту (380 HFSO) вранці 13 серпня 2022 року становила \$308,93 (+\$3,24). Судновий мазут із дуже низьким вмістом сірки (VLSO) торгувався за \$367,00 (+\$3,00).

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

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

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

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

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

УПГ ОНВ змійовикового типу достатньо простої конструкції, має аналоги використання в судновій енергетиці [2], 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.) [3]. ДКУ може бути спрощеною при генеруванні пари тиском до 4 бар та використанні окремого джерела теплоносія для КПВП.

ЛІТЕРАТУРА

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

Modernization of auxiliary boiler installation of tanker YEVGENIY TITOV

Pidvysotskyi M.V., Bondarenko M.S., Yeleonska O.S.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. The issues of improving the performance indicators of the power plant of the YEVGENIY TITOV tanker through deeper utilization of the heat of the charge air of the main engine were considered.

Keywords. Waste steam generator, charge air heat, thermal scheme, reduction of boiler fuel consumption, payback period, limit price.

УДК: 621.181.2

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТАНКЕРА ПРОЕКТА 15966

Підвисоцький М.В.

магістр гр.6214мз НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна

Бондаренко М.С.

к.т.н., доцент кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ

Гоцуляк М.О.

*викладачка кафедри експлуатації СЕУ та ТЕ
НУК імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна*

Анотація. Розглянуті питання поліпшення теплопостачання танкера проекту 15966 шляхом зниження параметрів теплоносія та більш ефективної утилізації тепла наддувного повітря головного двигуна.

Ключові слова. утилізаційний парогенератор, теплота наддувного повітря, термо-масляний котел, трисекційний охолодник наддувного повітря, тепла схема суднової енергетичної установки.

Актуальність. Сучасні головні малообертові двигуни характеризуються високим ступенем наддуву і значно зниженою температурою відхідних газів, що супроводжується суттєвим перерозподілом статей теплового балансу. Як наслідок, виникає необхідність пошуку нових, більш ефективних способів використання вторинних енергоресурсів для підвищення теплової економічності суднової енергетичної установки

Аналіз проектних рішень. Розрахунок парового навантаження котельної установки танкера виконаний для холодної і теплої зони.

В системі підігріву вантажних танків використовується свіжа насичена пара тиском 7 бар для підігріву вантажу від 50 до 75°C протягом 120 год. Система мийки танків забезпечує підігрів заборотної води від 5 до 55°C свіжою насиченою парою тиском 7 бар. В системі парового опалення та господарського водопостачання використовується редукована пара