

УДК 621.57

Н. И. РАДЧЕНКО, И. В. КАЛИНИЧЕНКО, Р. Н. РАДЧЕНКО

*Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина***ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ЭЖЕКТОРНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНОЙ С БУСТЕРНЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ**

Проанализировано охлаждение воздуха на входе главного двигателя транспортного судна эжекторной холодильной машиной, утилизирующей теплоту уходящих газов. На примере конкретной рейсовой линии "Мариуполь-Амстердам-Мариуполь" показана необходимость повышения потенциала используемой теплоты при повышенных тепловых нагрузках на систему охлаждения воздуха на входе двигателя на отдельных ее участках. Предложено для нагрева применять тепловой насос, утилизирующий теплоту отработанного конденсата, обычно отводимую забортной водой в охладителе конденсата перед теплым ящиком. Предложены соответствующие схемные решения системы охлаждения воздуха на входе двигателя эжекторной холодильной машиной с бустерным тепловым насосом.

Ключевые слова: охлаждение воздуха, эжекторная холодильная машина, тепловой насос, дизель.

1. Анализ проблемы и постановка цели исследования

На подавляющем большинстве транспортных судов в качестве главных двигателей применяются малооборотные дизели (МОД). Известно, что с повышением температуры наружного воздуха, соответственно и воздуха в машинном отделении (МО) на входе дизеля (наддувочного турбокомпрессора – ТК) его топливная эффективность ухудшается. Так, с увеличением на 10 °С температуры воздуха на входе МОД удельный расход топлива b_e возрастает на 0,5...0,7 % [1, 2]. Значительные изменения в течение рейса температуры наружного воздуха и воздуха в МО на входе ТК, а также забортной воды, охлаждающей наддувочный воздух после ТК, остро ставят проблему охлаждения воздуха на входе с целью поддержания его высокой экономичности.

Возрастание при этом температуры отходящих газов и соответствующих потерь теплоты делает целесообразным ее трансформацию в холод теплоиспользующей холодильной машиной (ТХМ) и его использование для охлаждения воздуха на входе ТК [1, 2]. Конструктивно наиболее простой и надежной в эксплуатации является эжекторная холодильная машина (ЭХМ), в которой функцию компрессора выполняет эжектор. Эксплуатация судна в разных климатических зонах в течение рейса сопровождается изменением тепловой нагрузки на систему охлаждения и, соответственно, на ТХМ, в частности, эжекторного типа [3]. При высоких тепловых нагрузках на отдельных участках рейса используемого в ЭХМ теплового потенциала может оказаться недостаточно. С целью повышения потенциала теплоты, используемой в ЭХМ, весьма перспективным представляется применение тепловых насосов (ТН),

поскольку на судах всегда имеется множество разнообразных источников низкопотенциальной теплоты.

Цель работы – анализ эффективности охлаждения воздуха на входе МОД транспортного судна в ЭХМ с бустерным тепловым насосом повышения потенциала используемой теплоты.

2. Результаты исследования

Схема системы охлаждения воздуха на входе ТК МОД с ЭХМ приведена на рис. 1. Теплота отходящих газов используется в паровом утилизационном котле (УК), а теплота водяного пара – на покрытие нужд судовых потребителей (20...30 % в теплое время) и в ЭХМ (70...80 %) для получения холода. Применение в ЭХМ низкокипящих рабочих тел (НРТ)-хладонов позволяет охлаждать воздух на входе МОД до сравнительно низких температур 15...20 °С без необходимости поддержания вакуума в испарителе НРТ-воздухоохладителе (И-ВО).

Поскольку в течение рейса меняются температура $t_{нв}$ и влажность $\varphi_{нв}$ наружного воздуха, соответственно воздуха в машинном отделении (МО), т.е. на входе охладителя воздуха, которую принимают на 10 °С выше, чем наружного воздуха $t_{нв}$ [1, 2], то снижение температуры воздуха в охладителе Δt_v на входе ТК и соответствующее сокращение потребления топлива МОД следует определять для судна на конкретной рейсовой линии.

В качестве примера рассмотрен балкер типа "Киев" с главным двигателем 8S50ME-C7.1-ТП MAN [2] (номинальная мощность $N_n = 12640$ кВт, эксплуатационная $N_s = 10580$ кВт) и рейсовая линия Мариуполь-Амстердам-Мариуполь.

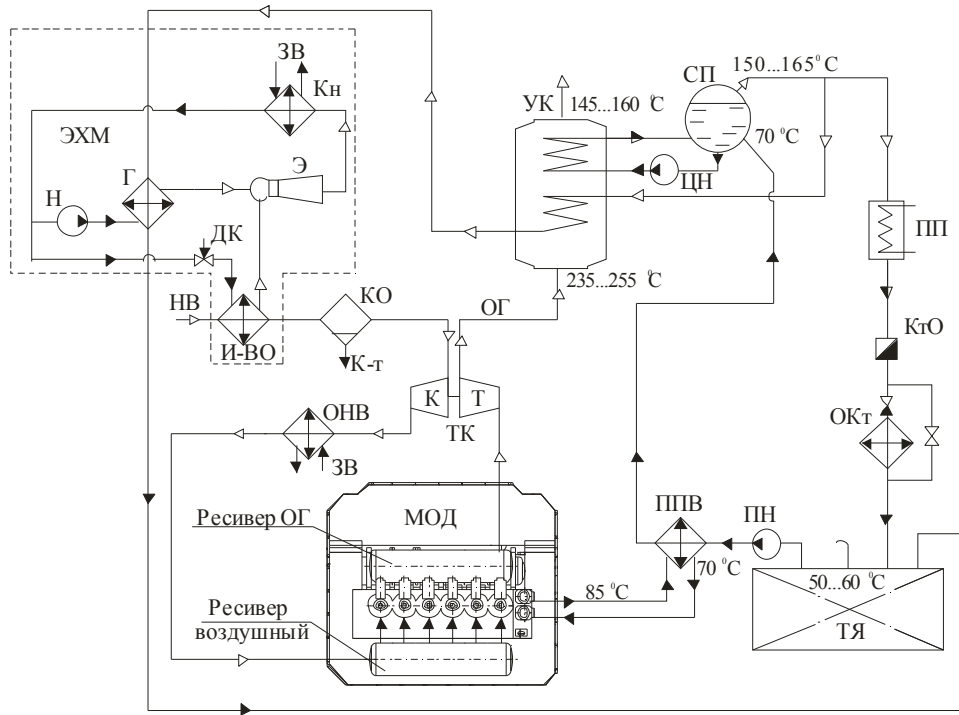


Рис. 1. Схема системы охлаждения воздуха на входе ТК МОД с ЭХМ, использующей пар УК: К – компрессор ТК; Т – турбина ТК; ОНВ – охладитель наддувочного воздуха; СП – сепаратор пара; ТЯ – теплый ящик; ПП – потребители пара; УК – утилизационный котел; КО – каплеотделитель; К-т – конденсат; КтО – конденсатоотводчик; ППВ – подогреватель питательной воды УК; ЭХМ: Г – генератора паров хладона-конденсатор водяного пара; Э – эжектор; Кн – конденсатор; Н – насос; ДК – дроссельный клапан; И-ВО – испаритель хладона-воздухо-охладитель; НВ – воздух из МО на входе ТК; ОГ – отходящие газы; ЗВ – заборная вода

Изменение климатических условий в течение летнего рейса Мариуполь–Амстердам–Мариуполь (1.07...26.07.2009) представлено на рис. 2.

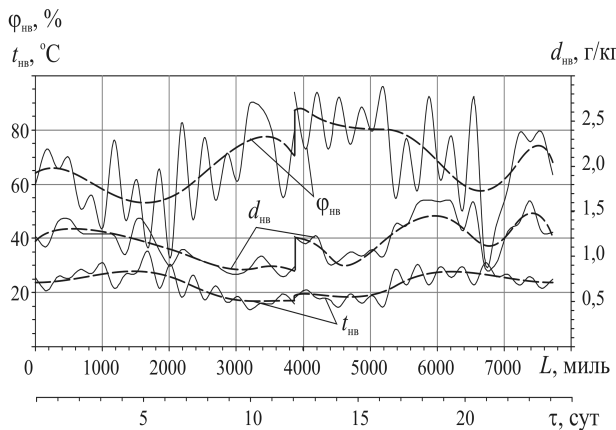


Рис. 2. Изменение температуры $t_{нв}$, относительной влажности $\phi_{нв}$ и влагосодержания $d_{нв}$ наружного воздуха в течение рейса Мариуполь–Амстердам–Мариуполь (1.07...26.07.2009)

Холодопроизводительность ЭХМ Q_0 определяют исходя из располагаемой теплоты отходящих газов Q_r как $Q_0 = \zeta Q_r$, где ζ – тепловой коэффициент ЭХМ, $\zeta = 0,30...0,35$ при использовании в каче-

стве греющей среды пара (температура t_r кипения хладона R142b $t_r = 110...120^\circ\text{C}$) и $\zeta \approx 0,2$ в случае горячей воды ($t_r = 80...90^\circ\text{C}$).

Расход воздуха G_b рассчитывают по программе фирмы MAN в зависимости от температуры воздуха t_{b2} на входе ТК [2]. С учетом разности температур между охлажденным воздухом и кипящим R142b, $t_{b2} - t_0 = 10^\circ\text{C}$, глубина охлаждения воздуха в И-ВО ограничивается температурой $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$ (при $t_0 = 5^\circ\text{C}$).

Значения холодопроизводительности ЭХМ Q_0 , расходуемой на охлаждение воздуха в охладителе на величину Δt_b , даны на рис. 3.

Об использовании холодопроизводительности Q_0 , получаемой в ЭХМ за счет теплоты уходящих газов, можно судить по ее доле ΔQ_0 , расходуемой на охлаждение воздуха на входе МОД, в течение рейса Мариуполь–Амстердам–Мариуполь по рис. 4.

Как видно, на участке протяженностью 2000...2500 км прямого и обратного рейсов (Одесса-Порто и Порто-Одесса) при повышенных температурах $t_{нв}$ имеет место 20...40 % дефицит холода: $\Delta Q_0 \gg 100\%$. Для его покрытия необходимо использовать дополнительные источники теплоты.

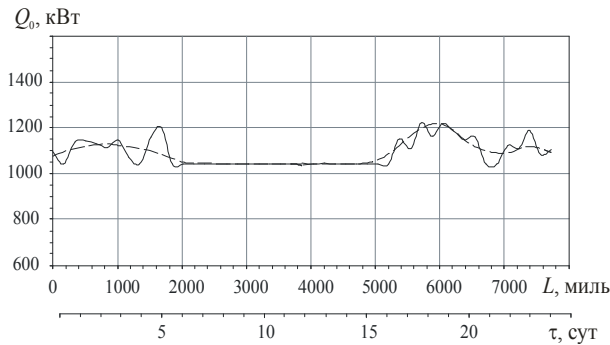


Рис. 3. Текущие значения холодопроизводительности ЭХМ Q_0 , расходуемой на охлаждение воздуха на входе МОД на величину Δt_b от $t_{MO} = t_{нв} + 10^\circ\text{C}$ до $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$ при подаче воздуха в охладитель из МО Q_0 "

Таковыми дополнительными источниками может быть теплота конденсата с температурой $t_{кт} = 70...90^\circ\text{C}$, обычно отводимая забортной водой в охладителе конденсата перед его подачей в теплый ящик с температурой $t_{кт} = 50...60^\circ\text{C}$. Это требует повышения его теплового потенциала до температуры $t_{кт} = 90...95^\circ\text{C}$, соответствующей температуре кипения НРТ в генераторе ЭХМ $t_r = 80...90^\circ\text{C}$. В качестве такого бустерного нагревателя конденсата можно использовать тепловой насос (рис. 5).

Расчеты по программе mandieselturbo [2] для МОД фирмы MAN показали, что использование теплоты уходящих газов в ЭХМ для охлаждения воздуха на входе ТК судового МОД обеспечивает сокращение удельного расхода топлива в летние

месяцы на разных участках рейсовой линии Мариуполь–Амстердам–Мариуполь на $1,5...2,5 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$. При этом снижение температуры воздуха на входе ТК МОД на величину $\Delta t_b = 10^\circ\text{C}$ приводит к уменьшению удельного расхода топлива b_e примерно на $1,2 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$.

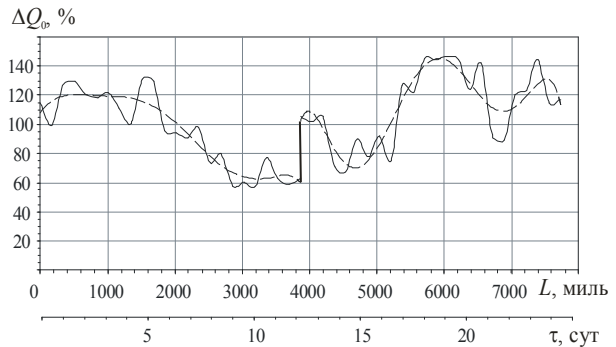


Рис. 4. Доля холодопроизводительности ТЭХМ ΔQ_0 , расходуемая на охлаждение воздуха в охладителе на входе ТК до $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$ на величину Δt_b от ее располагаемой величины, получаемой за счет теплоты уходящих газов, при подаче воздуха отдельным воздуховодом $\Delta Q_0'$ (а) и из МО $\Delta Q_0''$ (б)

Выводы

Впервые предложено повышение теплового потенциала отработанного конденсата с целью его использования в ЭХМ охлаждения воздуха на входе судового МОД с применением теплового насоса в качестве бустерного нагревателя. Разработаны схемы систем охлаждения.

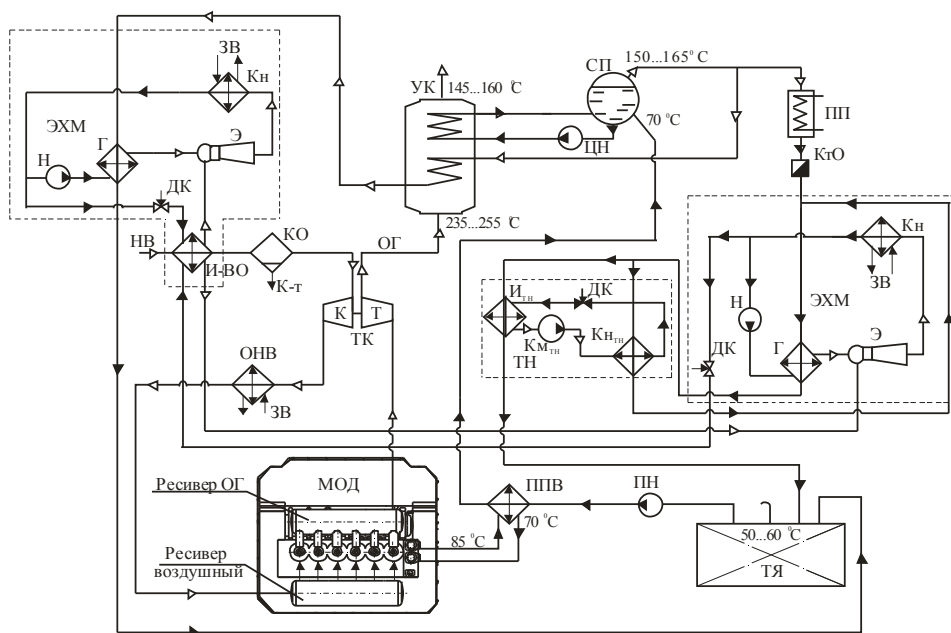


Рис. 5. Схема системы охлаждения воздуха на входе ТК МОД с ЭХМ, использующей теплоту водяного пара из УК, и ЭХМ с бустерным ТН, использующими теплоту отработанного конденсата:

ТН: $КМ_{ТН}$ – компрессор ТН; $КН_{ТН}$ – конденсатор ТН-нагреватель конденсата; $И_{ТН}$ – испаритель ТН-охладитель конденсата; остальные обозначения, как на рис. 1

Литература

1. *Influence of Ambient Temperature Conditions. Main engine operation of MAN B&W two-stroke engines [Text]. – Copenhagen, Denmark : MAN Diesel & Turbo, 2010. – 17 p.*
2. *MAN B&W ME/ME-C/ME-GI/ME-B-TII engines [Electronic resource]. – Copenhagen, Denmark : MAN Diesel. – 2010. – 357 p. – Access mode: http://www.mandieselturbo.com/download/project_guides_tier2/printed/s90mcc8.pdf. – 12.04.2017.*
3. Радченко, Р. Н. Анализ альтернативных вариантов охлаждения циклового воздуха малооборотного дизеля транспортного судна [Текст] / Р. Н. Радченко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – № 5 (112). – С. 104–108.

References

1. *Influence of Ambient Temperature Conditions. Main engine operation of MAN B&W two-stroke engines. Copenhagen, Denmark, MAN Diesel & Turbo Publ., 2010. 17 p.*
2. *MAN B&W ME/ME-C/ME-GI/ME-B-TII engines. Copenhagen, Denmark, MAN Diesel Publ., 2010, 357 p. Available at: http://www.mandieselturbo.com/download/project_guides_tier2/printed/s90mcc8.pdf (accessed 12.04.2017).*
3. Radchenko, R. N. Analysis of alternative variants of low speed diesel cyclic air chilling on transport ship [Analiz alternativnykh variantov ohlazhdeniya ciklovogo vozduha malooborotnogo dizelya transportnogo sudna], *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija – Aerospace Technic and Technology*, 2014, no. 5/112, pp. 104-108.

Надійшла до редакції 14.04.2017, розглянута на редколегії 8.06.2017

ОХОЛОЖДЕННЯ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ЕЖЕКТОРНОЮ ХОЛОДИЛЬНОЮ МАШИНОЮ З БУСТЕРНИМ ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

М. І. Радченко, І. В. Калініченко, Р. М. Радченко

Проаналізовано охолодження повітря на вході головного двигуна транспортного судна ежекторною холодильною машиною, що утилізує теплоту відхідних газів. На прикладі конкретної рейсової лінії "Маріуполь-Амстердам-Маріуполь" показано необхідність підвищення потенціалу використовуваної теплоти при підвищених теплових навантаженнях на систему охолодження повітря на вході двигуна на окремих її ділянках. Запропоновано для нагріву застосовувати тепловий насос, що утилізує теплоту відпрацьованого конденсату, яка зазвичай відводиться забортною водою в охолоджувачі конденсату перед теплим ящиком. Розроблено відповідні схемні рішення системи охолодження повітря на вході двигуна ежекторною холодильною машиною з бустерним тепловим насосом.

Ключові слова: охолодження повітря, ежекторна холодильна машина, тепловий насос, дизель.

COOLING OF MARINE DIESEL ENGINE INTAKE AIR BY EJECTOR CHILLER WITH BUSTER HEAT PUMP

N. I. Radchenko, I. V. Kalinichenko, R. N. Radchenko

Cooling of intake air for the main engine of transport ship by ejector chiller utilizing the heat of exhaust gases has been analyzed. The necessity to increase a potential of the heat recovered during increased heat loads upon engine intake air cooling system at definite parts of the route line was shown for the route line "Mariupol-Amsterdam-Mariupol" as an example. An application of heat pump for heating purposes by utilizing the heat of exhaust condensate that is conventionally taken away by sea water through condensate cooler before the heat box has been proposed. The corresponding schemes of the engine intake air cooling system by ejector chiller with buster heat pump were developed.

Keywords: air cooling, ejector chiller, heat pump, diesel engine.

Радченко Николай Иванович – д-р техн. наук, профессор, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: nirad50@gmail.com.

Калиниченко Иван Владимирович – ассистент Херсонского филиала Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина, e-mail: kalinichenkoi80@ukr.net.

Радченко Роман Николаевич – канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: nirad50@gmail.com.

Radchenko Nikolai Ivanovich – doctor of technical sciences, professor, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine, nirad50@gmail.com.

Kalinichenko Ivan Vladimirovich – assistant of Kherson filial of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ukraine, e-mail: kalinichenkoi80@ukr.net.

Radchenko Roman Nikolaevich – candidate of technical sciences, senior scientific worker of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev, Ukraine, nirad50@gmail.com.