

УДК 621.57
Р 15

ПОТЕНЦИАЛ ОХЛАЖДЕНИЯ ЦИКЛОВОГО ВОЗДУХА ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Р. Н. Радченко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Национальный университет кораблестроения, г. Николаев

Аннотация. Выполнена оценка потенциально возможной глубины охлаждения циклового воздуха (всасываемого и наддувочного) малооборотного дизеля в климатических условиях эксплуатации судна на конкретной рейсовой линии и снижения его температуры исходя из располагаемой теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха и эффективности ее трансформации в холод теплоиспользующей холодильной машиной. Определены значения снижения температуры наддувочного воздуха на входе в цилиндры, а также соответствующего сокращения удельного и общего расхода топлива главного дизеля на рейсовой линии Одесса–Йокогама с учетом изменения температуры наружного воздуха и забортной воды.

Ключевые слова: малооборотный дизель, турбокомпрессор, всасываемый воздух, наддувочный воздух, охлаждение, утилизация тепла, теплоиспользующая холодильная машина, низкокипящее рабочее тело.

Анотація. Виконано оцінку потенційно можливої глибини охолодження циклового повітря (всмоктуваного та наддувочного) малооборотного дизеля в кліматичних умовах експлуатації судна на конкретній рейсовій лінії та зниження його температури, виходячи з наявної теплоти выпускних газів і наддувочного повітря та ефективності її трансформації в холод тепловикористовуючою холодильною машиною. Визначено значення зниження температури наддувочного повітря на вході в циліндри, а також відповідного скорочення питомої та загальної витрати палива головного дизеля на рейсовій лінії Одеса–Йокогама з урахуванням зміни температури зовнішнього повітря та забортної води.

Ключові слова: малооборотний дизель, турбокомпресор, всмоктуване повітря, наддувне повітря, охолодження, утилізація теплоти, тепловикористовуюча холодильна машина, низькокипляче робоче тіло.

Abstract. A potential of the cyclic air (intake and scavenge air) temperature drop of low speed diesel engine that might be achieved according to the current climate conditions of the ship performance on the rout line and actual its temperature drop achieved by recovering the exhaust gas and scavenge air heat depending on the efficiency of its transforming into a cold in waste heat recovery cooling machine is evaluated. The values of decrease in the intake air temperature and scavenge air temperature (at the inlet of cylinders) and corresponding decrease in specific and total fuel consumption of the main diesel engine at various temperature of the ambient air and sea water on the rout line Odessa–Yokogama are estimated.

Keywords: marine low speed diesel engine, turbocompressor, intake air, scavenge air, cooling, heat utilization, waste heat recovery cooling machine, low boiling working fluid.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На подавляющем большинстве транспортных судов в качестве главных двигателей применяются малооборотные дизели (МОД). Изменение в течение рейса температуры $t_{\text{нв}}$ и влажности ϕ наружного воздуха, а следовательно, и воздуха в машинном отделении (МО) на входе наддувочного турбокомпрессора (ТК), а также наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД существенно влияет на топливную эффективность МОД. Так, повышение температуры воздуха на входе ТК МОД на 10 °С вызывает возрастание удельного расхода топлива b_e на 0,5...0,7 %, а наддувочного воздуха на входе в цилиндры – примерно на 0,5 % [4–6]. При этом увеличиваются потери теплоты с выпускными газами и водой, охлаждающей наддувочный воздух. Поэтому представляется целесообразным использовать теплоту выпускных газов и наддувочного воздуха в холодильных машинах для охлаждения воздуха на

входе ТК и наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД с целью повышения топливной экономичности МОД.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ДОСТИЖЕНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Наиболее простые и надежные в эксплуатации – теплоиспользующие эжекторные холодильные машины (ТЭХМ), в которых функцию компрессора выполняет струйный аппарат – эжектор. Применение в ТЭХМ низкокипящих рабочих тел (НРТ) позволяет охлаждать воздух до сравнительно низких температур и за счет этого повышать топливную экономичность МОД. Вопросы оценки потенциала охлаждения воздуха отдельно на входе ТК и наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД исследовались в работах [1–3], однако совместное их рассмотрение не проводилось. В то же время ТЭХМ свойственна невысокая эффективность преобразования теплоты в холод, вследствие чего теплоты выпускных газов

и наддувочного воздуха может оказаться недостаточно для охлаждения воздуха на входе ТК и наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД. Очевидно, что ответить на этот вопрос можно только исходя из климатических условий эксплуатации судна на конкретной рейсовой линии и располагаемого теплового потенциала МОД.

ЦЕЛЮ ИССЛЕДОВАНИЯ является оценка снижения температуры воздуха на входе ТК и наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД, потенциально возможного в климатических условиях эксплуатации судна на конкретной рейсовой линии и реально достижимого – исходя из располагаемой сбросной теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха, трансформируемой в холод теплоиспользующей холодильной машиной.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Глубина охлаждения воздуха на входе ТК судового МОД, а также наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД с помощью ТХМ и, соответственно, получаемый эффект зависят от располагаемой теплоты выпускных газов МОД в виде генерируемого утилизационным котлом (УК) водяного пара, остающейся после покрытия потребностей судовой энергетической установки и всего судна в тепловой энергии, теплоты охлаждающей наддувочный воздух воды, отводимой за борт, а также от эффективности ее преобразования в холод в ТХМ, т. е. теплового коэффициента ζ . Тепловой коэффициент ζ представляет собой отношение холодопроизводительности Q_0 (теплоты, отведенной от воздуха на входе ТК и наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД) к располагаемой теплоте выпускных газов и охлаждающей наддувочный воздух воды Q_T : $\zeta = Q_0/Q_T$. Для ТЭХМ $\zeta = 0,30...0,35$; водоаммиачных абсорбционных холодильных машин (ВАХМ) $\zeta = 0,50...0,60$; абсорбционных бромистолитиевых (АБХМ) $\zeta = 0,70...0,80$.

В качестве примера транспортного судна рассмотрен балкер типа «Киев» с главным двигателем МОД 6S60MC6.1-T1 корпорации MAN [2]: номинальная мощность $N_n = 12,24$ МВт, эксплуатационная $N_s = 10$ МВт. В теплое время объемы потребления пара составляют около 25 % производительности УК и 75 % теплоты производимого в УК пара может быть использовано в ТХМ для охлаждения воздуха на входе ТК МОД.

Снижение температуры воздуха в ВО на входе ТК МОД $\Delta t_b = t_{b1} - t_{b2}$ зависит от исходных температуры $t_{b1} = t_{MO}$ и относительной влажности ϕ воздуха в машинном отделении (МО), которые, в свою очередь, зависят от параметров наружного воздуха t_{HB} и ϕ_{HB} , т. е. климатических условий плавания. Температура воздуха в МО t_{MO} в теплое время превышает наружную на 10 °С [1, 3]. Температура t_{b2} , которая ограничи-

вает глубину охлаждения воздуха в ВО на входе ТК, зависит от температуры хладоносителя t_x . В случае применения ТЭХМ в качестве хладоносителя используется НРТ, например хладон R142b. Температуру кипения R142b в испарителе НРТ–охладителе воды (И-ОВ) промежуточного водяного контура охлаждения желательнее удерживать $t_0 = 2...5$ °С. Минимальную разность температур между водой, охлажденной в И-ОВ, т. е. промежуточным хладоносителем на выходе из И-ОВ (на входе ВО), и кипящим НРТ можно принимать $\Delta t_{И-ОВ} = t_{w1} - t_0 = 5$ °С, а между воздухом, охлажденным в ВО, и хладоносителем $-\Delta t_{ВО} = t_{b2} - t_{w1} = 8...10$ °С. С учетом этого глубина охлаждения воздуха в ВО ТЭХМ ограничивается минимальной температурой $t_{b2} = t_0 + \Delta t_{И-ОВ} + \Delta t_{ВО} = 15...18$ °С. При отсутствии промежуточного водяного контура и испарения НРТ непосредственно в И-ВО на входе ТК $t_{b2} = t_0 + \Delta t_{И-ВО} = 10...15$ °С.

Таким образом, потенциально возможная величина снижения температуры воздуха на входе ТК МОД – до $t_{b2} = 15$ °С (для ТЭХМ и ВАХМ) составляет $\Delta t_{b15} = t_{MO} - 15$ °С, и она же, соответственно, определяет потенциальные (требуемые) холодопроизводительность ТХМ $Q_{0,15}$ и теплоту выпускных газов: $Q_{r,15} = Q_{0,15} / \zeta$. При этом $Q_{0,15} = G_b \cdot \xi \cdot c_b \cdot \Delta t_{b15}$, где G_b – расход воздуха через ВО на входе ТК МОД; c_b – теплоемкость влажного воздуха; ξ – коэффициент влаговыпадения, $\xi = (I_{b1} - I_{b2}) / [c_{вл} \cdot (t_{b1} - t_{b2})]$, где I_{b1} и I_{b2} – энтальпии влажного воздуха на входе и выходе из охладителя, т. е. отношение полного количества теплоты (разности энтальпий воздуха в охладителе), отведенной от влажного воздуха, к количеству явной теплоты, определяемому разностью температур по сухому термометру $\Delta t_b = t_{b1} - t_{b2}$.

Если потенциальную холодопроизводительность ТХМ $Q_{0,15}$ находят исходя из потенциально возможного снижения температуры Δt_{b15} воздуха на входе ТК МОД (до $t_{b2} = 15$ °С для ТЭХМ и ВАХМ), то реальную (действительную) холодопроизводительность $Q_{0,p}$ – из располагаемой теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха $Q_{r,p}$: $Q_{0,p} = \zeta Q_{r,p}$, а уже из нее определяют реальную (действительную) величину снижения температуры воздуха в ВО на входе МОД $\Delta t_b = Q_{0,p} / (G_b \cdot \xi \cdot c_b)$ и температуру охлажденного воздуха на входе ТК МОД $t_{b2} = t_{b1} - \Delta t_b = t_{MO} - Q_{0,p} / (G_b \cdot \xi \cdot c_b)$.

Рассмотрена рейсовая линия Одесса–Йокогама. Значения температуры t и относительной влажности ϕ наружного воздуха в течение рейса брали по данным метеоцентра, фиксируемым каждые 3 ч. Для каждого промежутка времени и соответствующих ему температуры t_{HB} и относительной влажности ϕ_{HB} наружного воздуха рассчитывали процессы охлаждения воздуха в охладителе от температуры воздуха на входе охладителя $t_{b1} = t_{MO} = t_{HB} + 10$ °С до температуры t_{b2} и вычисляли значение коэффициента влаговыпадения ξ .

Расход воздуха G_b через ТК рассчитывали по программе корпорации MAN для конкретного двигателя в зависимости от температуры воздуха t_{b2} на входе ТК [2].

Параметры наружно воздуха и процессов его охлаждения в охладителе ТЭХМ на входе МОД, рассчитанные исходя из располагаемой сбросной теплоты, а также потенциально возможное снижение тем-

пературы воздуха Δt_{b15} при его охлаждении от текущей t_{b1} до минимальной температуры $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$ в течение рейса Одесса–Йокогама (1.07.2009–27.07.2009) приведены на рис. 1. При этом в ТЭХМ используется теплота выпускных газов МОД после ТК и наддувочного воздуха, а тепловой коэффициент ТЭХМ составляет $\zeta = 0,35$ при температуре кипения хладоне R142b в И-ВО $t_0 = 5^\circ\text{C}$.

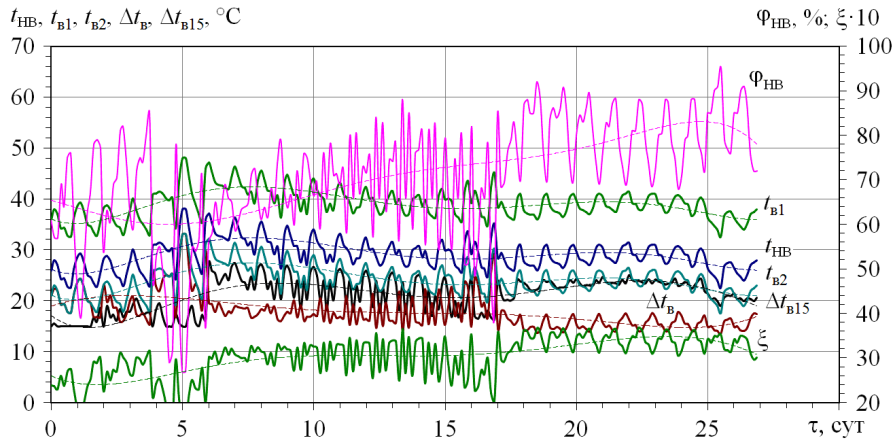


Рис. 1. Температура t_{HB} и относительная влажность ϕ_{HB} наружного воздуха, температуры воздуха на входе t_{b1} и выходе t_{b2} воздухоохладителя ТЭХМ, снижение температуры воздуха Δt_b (располагаемое) на входе МОД, коэффициенты влаговыведения ξ и потенциально возможное снижение температуры воздуха Δt_{b15} при его охлаждении от t_{b1} до $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$

Как видно из рис. 1, реальное снижение температуры воздуха Δt_b на входе МОД (трансформацией теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха в ТЭХМ) меньше потенциально возможного Δt_{b15} , причем их различие больше при высоких $\xi = 3,0 \dots 3,5$ ($\phi \geq 80\%$, 20.07.2009–25.07.2009).

Параметры процессов охлажденного в ТЭХМ и водяном охладителе наддувочного воздуха (ОНВ) традиционной системы охлаждения (при $\zeta = 0,2$

для ТЭХМ на R142b при $t_0 = 2^\circ\text{C}$) приведены на рис. 2.

Значения температуры забортной воды t_{3B} и наружного воздуха t_{HB} в течение рейса брали по данным метеоцентра, фиксируемым каждые 3 ч. Расход воздуха G_b через ТК рассчитывали по программе корпорации MAN для МОД 6S60MC6.1-TI в зависимости от температуры воздуха t_{b2} на входе ТК и охлаждающей воды: $G_b \approx 32 \text{ кг/с}$ при $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$ [2].

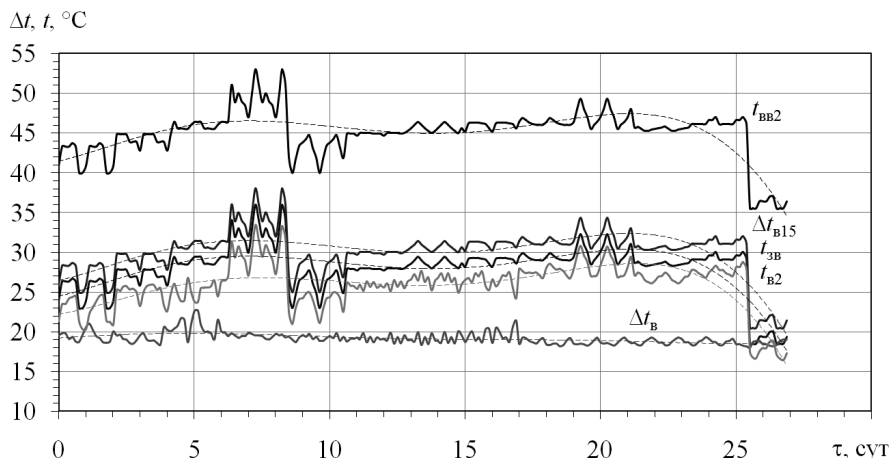


Рис. 2. Температуры наддувочного воздуха, охлажденного в ТЭХМ (t_{b2}) и водяном ОНВ (t_{BB2}), потенциально возможное снижение температуры наддувочного воздуха $\Delta t_{b15} = t_{BB2} - 15^\circ\text{C}$ (до $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$) и реальное ее снижение в ТЭХМ Δt_b исходя из располагаемой теплоты наддувочного воздуха Q_r при температурах забортной воды t_{3B}

При этом температура наддувочного воздуха t_{BB2} , охлажденного в водяном ОНВ забортной водой: $t_{BB2} = t_{3B} + \Delta t_{b1} + \Delta t_{b2}$, где $\Delta t_{b1} = 5^\circ\text{C}$ – разность температур

между охлажденной пресной водой промежуточного контура охлаждения и забортной водой в центральном холодильнике; $\Delta t_{b2} = 12^\circ\text{C}$ – разность температур

между охлажденным наддувочным воздухом и пресной водой.

Значения располагаемых теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха $Q_{г.р}$ для МОД 6S60MC6.1-T1 и холодопроизводительности ТЭХМ $Q_{0p(0,35)}$ (при $\zeta = 0,35$), а также потенциальной холодопроизводи-

тельности $Q_{0,15}$, необходимой для охлаждения воздуха на входе ТК до $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$, и соответствующей требуемой теплоты для охлаждения воздуха до $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ в разных ТХМ: ТЭХМ ($\zeta = 0,35$) – $Q_{г(0,35)}$, ВАХМ ($\zeta = 0,4$ и $0,5$) – $Q_{г(0,4)}$ и $Q_{г(0,5)}$, АБХМ ($\zeta = 0,8$) – $Q_{г(0,8)}$, приведены на рис. 3.

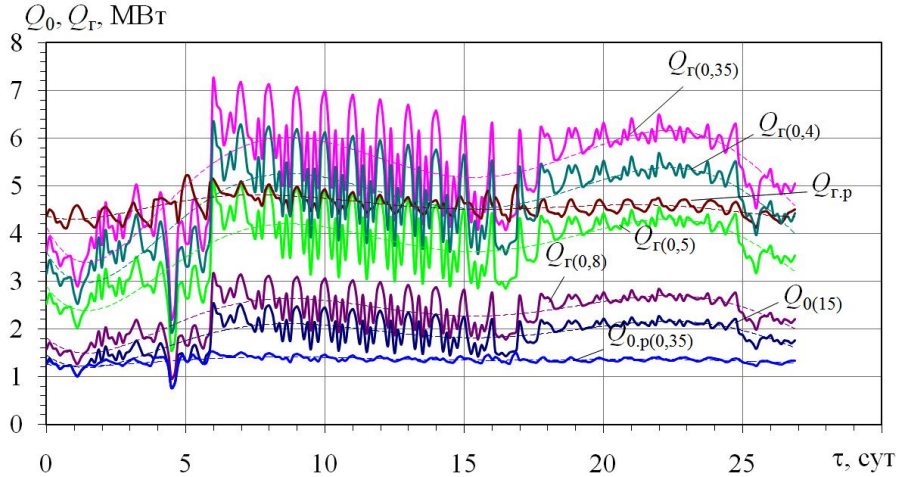


Рис. 3. Значения располагаемых теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха $Q_{г.р}$ МОД 6S60MC6.1-T1 и холодопроизводительности $Q_{0p(0,35)}$, получаемой в ТЭХМ ($\zeta = 0,35$), а также потенциальной холодопроизводительности $Q_{0,15}$, необходимой для охлаждения воздуха на входе ТК до $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$, и требуемой для этого теплоты соответственно: $Q_{г(0,35)}$ для ТЭХМ ($\zeta = 0,35$); $Q_{г(0,4)}$ для ВАХМ ($\zeta = 0,4$ и $0,5$), $Q_{г(0,8)}$ для АБХМ ($\zeta = 0,8$)

Из рис. 3 видно, что для большей части рейса потенциально возможная глубина охлаждения воздуха на входе ТК до $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ составляет $\Delta t_{в15} = 25 \dots 30^\circ\text{C}$, тогда как реальная – за счет утилизации располагаемой теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха в ТЭХМ ($\zeta = 0,35$) – гораздо меньше: $\Delta t_{в} = 15 \dots 20^\circ\text{C}$. Соответственно соотносятся и требуемая (потенциальная) $Q_{0,15}$ и располагаемая холодопроизводительность ТЭХМ ($\zeta = 0,35$) $Q_{0p(0,35)}$.

В случае применения ТЭХМ ($\zeta = 0,35$) дефицит холодопроизводительности по сравнению с потенциально возможной ее величиной приводит к сокращению глубины охлаждения воздуха на входе МОД на $5 \dots 8^\circ\text{C}$ и может быть сокращен и даже устранен за счет использования дополнительных источников теплоты, например горячей воды контура высокотемпературного охлаждения цилиндров двигателя, или применением более эффективных ТХМ – с большим тепловым коэффициентом ζ , в частности АБХМ ($\zeta = 0,8$) или ВАХМ ($\zeta = 0,4 \dots 0,6$) вместо ТЭХМ ($\zeta = 0,35$). Во втором случае для получения потенциальной холодопроизводительности $Q_{0,15}$ потребуются меньшие затраты теплоты, чем для ТЭХМ: $Q_{г(0,8)} < Q_{г(0,5)} < Q_{г(0,4)} < Q_{г(0,35)}$ (рис. 3). Как видно из рис. 3, применение ТХМ с $\zeta = 0,5$ потребует даже меньше теплоты $Q_{г(0,5)}$, чем имеется в распоряжении $Q_{г.р}$, обеспечивая при этом максимальную глубину охлаждения воздуха на входе МОД до $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$.

Значения располагаемой теплоты наддувочного воздуха МОД 6S60MC6.1-T1, а также требуемой те-

плоты (наддувочного воздуха, выпускных газов и др.) для охлаждения воздуха в разных ТХМ приведены на рис. 4.

Как видно, в случае применения ТЭХМ ($\zeta = 0,2$) располагаемой теплоты $Q_{г.р}$ наддувочного воздуха МОД недостаточно для его охлаждения до температуры $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$: $Q_{г.р} < Q_{г15(0,2)}$, тогда как более эффективная трансформация тепла в холод с помощью ВАХМ ($\zeta = 0,6$) или АБХМ ($\zeta = 0,7$) обеспечивает достижение $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ даже при меньших затратах теплоты: $Q_{г15(0,6)}$ и $Q_{г15(0,7)} < Q_{г.р}$.

Результаты расчета топливной эффективности применения охлаждения воздуха на входе МОД 6S60MC6.1-T1 приведены на рис. 5.

Расходы топлива, абсолютный B_1 и удельный b_e , в соответствии с уменьшением температуры воздуха на входе ТК рассчитывали по программе корпорации MAN в зависимости от температуры воздуха $t_{в2}$ на входе ТК, согласно которой снижение температуры воздуха на входе ТК МОД на величину $\Delta t_{в} = 10^\circ\text{C}$ приводит к уменьшению удельного расхода топлива b_e на $1,2 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$ [2].

Как видно из рис. 5, трансформация теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха в ТЭХМ ($\zeta = 0,35$) обеспечивает уменьшение удельного расхода топлива $\Delta b_e = 1,5 \dots 2,5 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$, тогда как при более глубоком охлаждении воздуха до $t_{в2} = 15^\circ\text{C}$ $\Delta b_{15} = 2,5 \dots 3,5 \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)}$. При этом потенциально возможная экономия топлива за рейс Одесса–Йокогама (1.07.2009–27.07.2009) для МОД 6S60MC6.1-T1

(эксплуатационной мощностью 10 МВт) составляет примерно $B_{r15} = 19$ т (при охлаждении воздуха до $t_{b2} = 15$ °С) против $B_r = 14$ т за счет трансформации теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха в ТЭХМ ($\zeta = 0,35$). Использование дополнительных источников теплоты (горячей воды контура высоко-

температурного охлаждения цилиндров двигателя) или применением более эффективных ТХМ – с большим тепловым коэффициентом ζ , в частности АБХМ ($\zeta = 0,8$) или ВАХМ ($\zeta = 0,4...0,6$) вместо ТЭХМ ($\zeta = 0,35$), обеспечит 30...40 % приращение экономии топлива по сравнению с ТЭХМ.

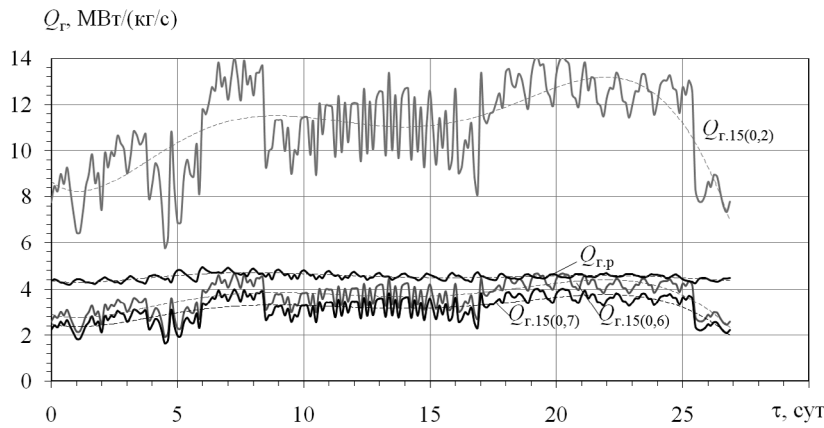


Рис. 4. Значения располагаемой теплоты $Q_{r,p}$ наддувочного воздуха МОД, требуемой теплоты $Q_{r15(0,2)}$, $Q_{r15(0,6)}$ и $Q_{r15(0,7)}$ для охлаждения воздуха до температуры $t_{b2} = 15$ °С при разных тепловых коэффициентах: $\zeta = 0,2$ (ТЭХМ), $0,6$ (ВАХМ) и $0,7$ (АБХМ)

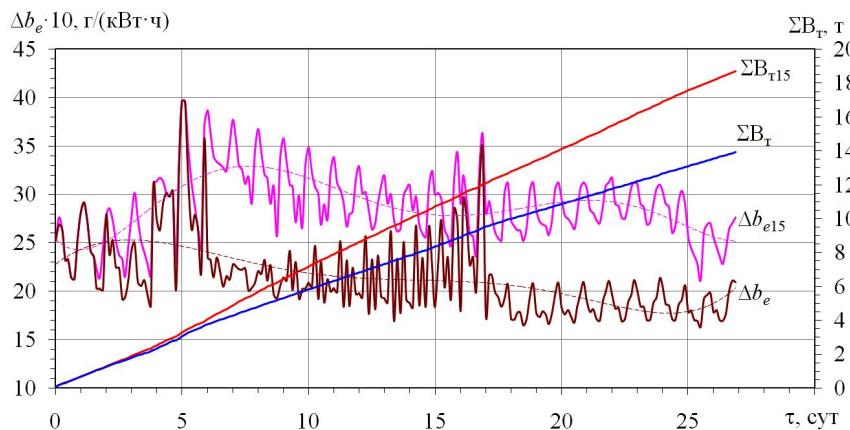


Рис. 5. Значения уменьшения удельного расхода топлива Δb_e и суммарной экономии топлива ΣB_r за счет охлаждения воздуха на входе МОД 6S60MC6.1-Т1 трансформацией теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха в ТЭХМ ($\zeta = 0,35$), а также потенциально возможных Δb_{e15} и ΣB_{r15} при охлаждении воздуха на входе МОД до температуры $t_{b2} = 15$ °С в течение рейса; Δb_e и ΣB_r – действительные для ТЭХМ ($\zeta = 0,35$); Δb_{e15} и ΣB_{r15} – потенциальные при $t_{b2} = 15$ °С

Охлаждение наддувочного воздуха в ТХМ до температуры t_{b2} ниже температуры воздуха t_{bb2} , охлаждаемого в традиционном ОНВ заборной водой, на величину $\Delta t_b = t_{bb2} - t_{b2}$ обеспечивает сокращение удельного b_e и общего B_r расходов топлива. Уменьшение удельного расхода топлива Δb_e и, соответственно, общего расхода топлива МОД 6S50ME-C рассчитывали по программе корпорации MAN в соответствии с температурой t_{b2} охлажденного в ТХМ наддувочного воздуха, согласно которой снижение температуры воздуха на величину $\Delta t_b = 10$ °С приводит к уменьшению удельного расхода топлива b_e на 1 г/(кВт·ч) [2].

Результаты расчетов топливной эффективности применения охлаждения наддувочного

воздуха для МОД 6S60MC6.1-Т1 приведены на рис. 6.

Как видно, если трансформация теплоты наддувочного воздуха в ТЭХМ ($\zeta = 0,2$) обеспечивает уменьшение удельного расхода топлива на величину $\Delta b_e = 2,0...2,5$ г/(кВт·ч), то при более глубоком охлаждении воздуха (до $t_{b2} = 15$ °С) – на величину $\Delta b_{e15} = 3,0...4,0$ г/(кВт·ч). При этом потенциально возможная экономия топлива за рейс Одесса–Йокогама для МОД 6S60MC6.1-Т1 составляет примерно $B_{r15} = 23$ т (при охлаждении воздуха до $t_{b2} = 15$ °С) против $B_r = 15$ т за счет трансформации теплоты наддувочного воздуха в ТЭХМ ($\zeta = 0,2$). Использование дополнительных источников теплоты (выпускных газов, горячей воды контура высокотемпературного охлаждения цилин-

двов двигателю) или применение более эффективных ТХМ – с большим тепловым коэффициентом ζ , в частности АБХМ ($\zeta = 0,7 \dots 0,8$) или ВАХМ ($\zeta = 0,4 \dots 0,6$) вместо ТЭХМ ($\zeta = 0,2 \dots 0,3$), или комбинированных ступенчатых ТХМ с ТЭХМ в качестве низкотемпературной ступени обеспечит

приращение экономии топлива в 1,5 раза по сравнению с ТЭХМ при эксплуатации судовых МОД в крайне неблагоприятных климатических условиях – при высокой температуре наружного воздуха и охлаждающей наддувочный воздух забортной воды.

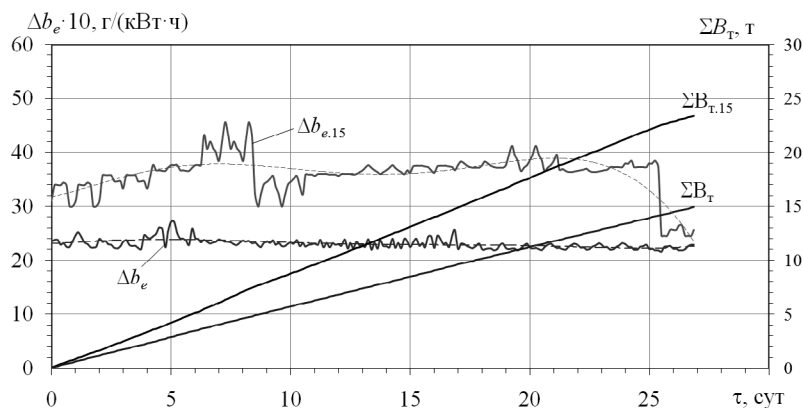


Рис. 6. Значения уменьшения удельного расхода топлива Δb_e и суммарной экономии топлива ΣB_T за счет охлаждения наддувочного воздуха МОД 6S60MC6.1-П (10 МВт) трансформацией теплоты наддувочного воздуха в ТЭХМ ($\zeta = 0,2$), а также потенциально возможных $\Delta b_{e,15}$ и $\Sigma B_{T,15}$ при охлаждении наддувочного воздуха до температуры $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$ в течение рейса; Δb_e и ΣB_T – действительные для ТЭХМ ($\zeta = 0,2$); $\Delta b_{e,15}$ и $\Sigma B_{T,15}$ – потенциально возможные при $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$

ВЫВОДЫ

1. Сравнение снижения температуры воздуха на входе ТК МОД и наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД, потенциально возможного в климатических условиях эксплуатации судна на конкретной рейсовой линии, с одной стороны, и реально достижимого – исходя из располагаемой сбросной теплоты дизеля и эффективности ее трансформации в холод теплоиспользующей эжекторной холодильной машины (ТЭХМ) – с другой показало, что потенциально

возможные значения этих величин примерно в 1,5 раза превышают таковые для трансформации располагаемого сбросного тепла МОД в холод с помощью ТЭХМ.

2. Для полной реализации потенциала охлаждения циклового воздуха МОД (воздуха на входе ТК МОД и наддувочного воздуха на входе в цилиндры МОД) необходимо применение более эффективных ТХМ (с большими тепловыми коэффициентами трансформации тепла в холод ζ по сравнению с ТЭХМ), например ВАХМ ($\zeta = 0,6$) или АБХМ ($\zeta = 0,7$) или же комбинированные ТХМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Андреев, А. А. Теплоиспользующая система охлаждения наддувочного воздуха судового малооборотного дизеля [Текст] / А. А. Андреев, Н. И. Радченко, А. А. Сирота // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – № 1 (98). – С. 66–70.
- [2] Радченко, Р. Н. Повышение топливной эффективности малооборотного дизеля транспортного судна охлаждением воздуха на входе эжекторной холодильной машиной [Текст] / Р. Н. Радченко // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2011. – № 2 (437). – С. 71–76.
- [3] Радченко, Р. Н. Интегрирование эжекторных теплоиспользующих установок охлаждения в системы воздухоподготовки главных судовых двигателей [Текст] / Р. Н. Радченко // Техногенна безпека : наукові праці ЧДУ ім. П. Могили. – Миколаїв : ЧДУ. – 2009. – Т. 111, Вип. 98. – С. 44–50.
- [4] Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation [Text]. – Copenhagen : MAN B&W Diesel A/S, 2005. – 15 p.
- [5] MAN B&W ME/ME-C/ME-GI/ME-B-TH engines [Text]. – Copenhagen : MAN Diesel, 2010. – 389 p.
- [6] Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission [Text]. – Copenhagen : MAN B&W Diesel A/S, 2005. – 12 p.

© Р. М. Радченко

Надійшла до редколегії 15.09.13
Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. С. І. Сербін