

УДК 621.57

Р.Н. РАДЧЕНКО¹, Н.И. РАДЧЕНКО¹, Т. БЕС², А.А. СИРОТА³¹Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина²Западно-Померанский технологический университет, Щецин, Польша³Черноморский государственный университет им. П. Могилы, Украина

ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУХА НА ВХОДЕ ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА

Выполнено сравнение эффективности охлаждения воздуха на входе турбокомпрессора судового малооборотного дизеля эжекторной теплоиспользующей холодильной машиной, утилизирующей теплоту выпускных газов, и забортной водой. Определены значения снижения температуры воздуха на входе турбокомпрессора и соответствующего сокращения удельного расхода топлива главного дизеля на рейсовой линии Мариуполь–Амстердам–Мариуполь с учетом изменения температуры и влажности наружного воздуха и температуры забортной воды.

Ключевые слова: судовой малооборотный дизель, охлаждение воздуха, утилизация тепла, турбокомпрессор, эжекторная холодильная машина, низкокипящее рабочее тело.

Анализ проблемы и постановка цели исследования

На большинстве транспортных судов в качестве главных двигателей применяются малооборотные дизели (МОД). Значительное изменение в течение рейса температуры $t_{\text{вв}}$ и влажности ϕ наружного воздуха, соответственно воздуха в машинном отделении (МО) и на входе наддувочного турбокомпрессора (ТК) 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 % [1–3]. При этом возрастают температура выпускных газов после турбины ТК и, следовательно, потери теплоты с ними. Поэтому представляется целесообразным использовать теплоту выпускных газов в холодильных машинах для охлаждения воздуха на входе ТК с целью повышения топливной экономичности МОД.

Наиболее простыми и надежными в эксплуатации являются теплоиспользующие эжекторные холодильные машины (ТЭХМ), в которых функцию компрессора выполняет струйный аппарат – эжектор. Применение в ТЭХМ низкокипящих рабочих тел (НРТ) позволяет охлаждать воздух на входе ТК МОД до сравнительно низких температур и за счет этого повышать топливную экономичность МОД.

Поскольку использование даже простых ТЭХМ требует применения помимо охладителя воздуха на входе ТК дополнительных теплообменников: генератора паров НРТ и конденсатора НРТ, приводящих к усложнению судовой энергетической установки (СЭУ), то необходимо сравнить эффективность ох-

лаждения воздуха на входе ТК МОД с помощью ТЭХМ и забортной водой. Данные по эффективности машинного и безмашинного способов охлаждения воздуха на входе ТК судовых МОД в известных публикациях [1–3] отсутствуют.

Целью исследования является оценка эффективности охлаждения воздуха на входе ТК МОД эжекторной холодильной машиной и забортной водой с учетом изменения тепловлажностных параметров наружного воздуха и температуры забортной воды в течение рейса.

Результаты исследования

Схема системы охлаждения воздуха на входе МОД в ТЭХМ, использующей теплоту водяного пара утилизационного котла, остающуюся после покрытия потребностей СЭУ и судна в ней, представлена на рис. 1. ТЭХМ состоит из паросилового и холодильного контуров. Паросилового контур служит для получения паров НРТ высокого давления, энергия которых используется в эжекторе для поджатия паров НРТ низкого давления, всасываемых из испарителя-воздухоохладителя (И-ВО) холодильного контура, до давления в конденсаторе. Эжектор совмещает функции детандера паросилового контура (расширение пара происходит в сопле) и компрессора холодильного контура (повышение давления пара – в камере смешения и диффузоре). В общем случае генератор состоит из экономайзерной секции, в которой происходит нагрев жидкого НРТ от температуры конденсации t_k до температуры кипения t_r , и испарительной с кипением НРТ при температуре t_r .

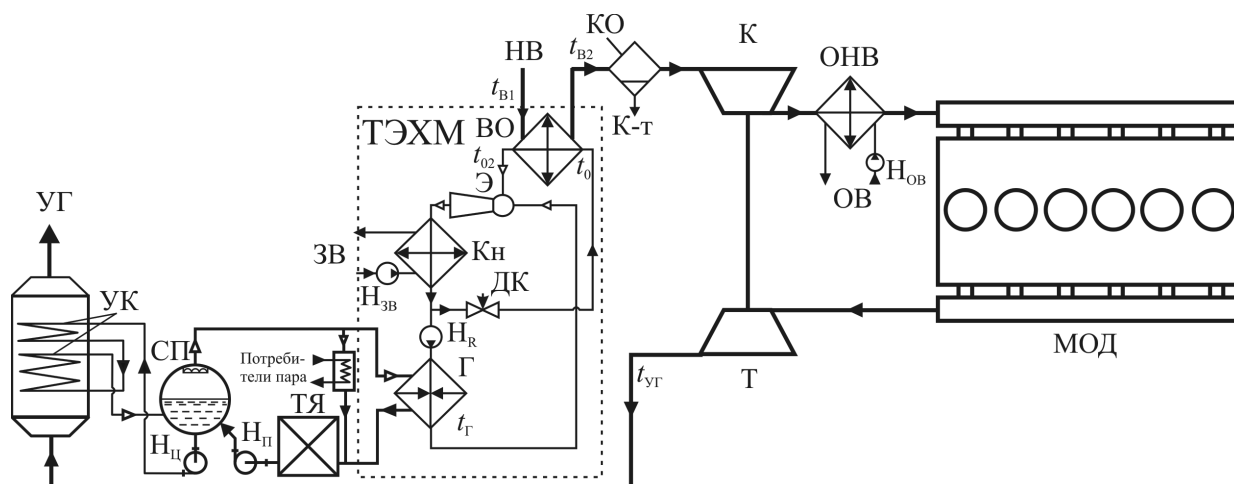


Рис. 1. Схема системы охлаждения воздуха на входе наддувочного компрессора МОД в ТЭХМ, использующей теплоту водяного пара утилизационного котла: К и Т – компрессор и турбина ТК; УК – утилизационный котел; СП – сепаратор пара; ТЯ – теплый ящик; ОНВ – охладитель наддувочного воздуха; Г – генератор паров НРТ; Э – эжектор; Кн – конденсатор; Н_Р, Н_п, Н_ц, Н_{зв}, Н_{ов} – насосы НРТ, питательный и циркуляционный УК, заборной воды, охлаждающей воды; ДК – дроссельный клапан; ВО – воздухоохладитель; КО – каплеотделитель; К-т – конденсат; НВ – наружный воздух; УГ – уходящие газы; ЗВ – заборная вода; ПП – потребители пара; ОВ – охлаждающая вода

Влажный воздух на входе охладителя содержит водяные пары, которые при охлаждении конденсируются. Поэтому для снижения температуры воздуха на величину $\Delta t_b = t_{b1} - t_{b2}$ требуются дополнительные затраты холода на отвод теплоты конденсации водяных паров (скрытой теплота). Отношение полного количества теплоты (разности энтальпий воздуха в охладителе), отведенной от влажного воздуха, к количеству явной теплоты, определяемому разностью температур по сухому термометру, характеризуется коэффициентом влаговываждения ξ : $\xi = (I_{b1} - I_{b2}) / [c_{вл} \cdot (t_{b1} - t_{b2})]$, где I_{b1} и I_{b2} – энтальпии влажного воздуха на входе и выходе из охладителя; $c_{вл}$ – теплоемкость влажного воздуха.

Величина $\xi = 1$ соответствует охлаждению без выпадения влаги. Результаты расчета показывают, что при температурах наружного воздуха 15, 20 и 25 °С и соответственно воздуха на входе охладителя (воздух из МО с температурой на 10 °С выше температуры наружного воздуха [1, 3]) $t_{b1} = 25, 30$ и 35 °С и его относительной влажности $\phi_1 = 70\%$ охлаждение воздуха до состояния насыщения ($\phi_2 = 100\%$) и температуры на выходе охладителя $t_{b2} = 15$ °С проходит при $\xi = 2,0; 2,5$ и 3,0 соответственно.

Эффективность эжектора характеризуется коэффициентом эжекции $U = G_0 / G_r$, где G_0 и G_r – расходы НРТ через И-ВО (эжектируемый НРТ низкого давления) и генератор (силовой НРТ высокого давления), а ТЭХМ – тепловым коэффициентом ζ , который представляет собой отношение холодопроизводительности Q_0 (теплоты, отведенной от воздуха на входе дизеля к НРТ, кипящему в И-ВО) к теплоте

Q_r , подведенной в генераторе к кипящему НРТ высокого давления от уходящих газов: $\zeta = Q_0 / Q_r$.

Значения удельных теплоты, отведенной от уходящих газов в генераторе ТЭХМ \bar{q}_r , и холодопроизводительности ТЭХМ \bar{q}_0 , коэффициента эжекции U и теплового коэффициента ζ , снижения температуры Δt_b воздуха в охладителе на входе ТК МОД в зависимости от температуры t_r и давления P_r кипения R142b в генераторе при коэффициентах влаговываждения $\xi = 1,0; 2,0; 2,5$ и 3,0 и температуре кипения R142b в испарителе $t_0 = 5$ °С приведены на рис. 2.

Как видно, удельные холодопроизводительности \bar{q}_0' и \bar{q}_0'' , производимые экономайзерной и испарительной секциями генератора, при температуре кипения НРТ в генераторе $t_r = 120$ °С примерно одинаковы и обеспечивают максимально возможную суммарную холодопроизводительность \bar{q}_0 во всем диапазоне температур t_r , допустимых с точки зрения термической стойкости хладагona R142b. При этом снижение температуры воздуха в охладителе ТЭХМ составляет $\Delta t_b = 9 \dots 13$ °С.

В качестве примера транспортного судна рассмотрен балкер типа "Киев" с главным двигателем МОД 6S60MC6.1-TI корпорации MAN [2]: номинальные мощность $N_n = 12240$ кВт и число оборотов $n_n = 105$ об/мин, эксплуатационные $N_s = 9790$ кВт; $n_s = 98$ об/мин. Глубина охлаждения воздуха на входе ТК судового МОД с помощью ТЭХМ и, соответственно, эффект от его применения зависят от распола-

гаемой теплоты выпускных газов МОД в виде водяного пара, вырабатываемого утилизационным котлом (УК), т.е. теплоты, остающейся после покрытия потребностей СЭУ и судна в целом в тепловой энергии, с одной стороны. В теплое время объемы потребления пара на балкере типа "Киев" составляют примерно 25 % производительности УК, т. е. 75 % производимого в УК пара можно использовать в ТЭХМ для охлаждения воздуха на входе ТК МОД.

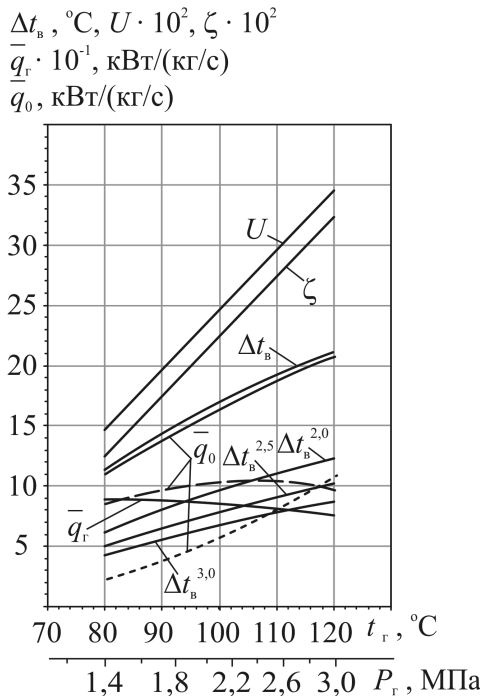


Рис. 2. Удельные теплота, отведенная от выпускных газов в генераторе ТТЭ \bar{q}_g , и холодопроизводительность ТТЭ q_0 , коэффициент эжекции U и тепловой коэффициент ζ , снижение температуры Δt_b воздуха в охладителе на входе ТК в зависимости от температуры t_g и давления P_g кипения R142b в генераторе:
 $\Delta t_b \dots \Delta t_b^{3,0} - \xi = 1,0 \dots 3,0$;
 - - - - испарительная секция, \bar{q}_0 , \bar{q}_g , Δt_b ;
 ···· экономайзерная секция, \bar{q}_0 , \bar{q}_g , Δt_b ;
 — — генератор в целом, \bar{q}_0 , \bar{q}_g , Δt_b

Кроме того, снижение температуры воздуха на входе ТК МОД $\Delta t_b = t_{b1} - t_{b2}$ зависит от исходных температуры t_{b1} и относительной влажности ϕ воздуха на входе МОД – параметров воздуха в машинном отделении (МО) t_{mo} , зависящих от параметров наружного воздуха, т. е. климатических условий плавания. Температура воздуха в машинном отделении (МО) t_{mo} в теплое время превышает наружную на 10 °C [1, 3]. Температура t_{b2} , которая ограничивает глубину охлаждения воздуха в воздухоохладите-

ле (ВО) на входе ТК, в свою очередь, зависит от температуры хладоносителя. В ТЭХМ в качестве хладоносителя используется НРТ, например хладон R142b. Температуру кипения R142b в испарителе-воздухоохладителе (И-ВО) желательно принимать $t_0 = 5$ °C. Минимальную разность температур между охлажденным воздухом и хладоносителем можно принимать 10 °C. С учетом этого глубина охлаждения воздуха в И-ВО ЭХМ ограничивается температурой $t_{b2} = t_0 + 10 = 15$ °C.

При охлаждении воздуха на входе МОД заборной водой с температурой t_w , меняющейся в течение рейса, глубина охлаждения воздуха в водяном ВО ограничивается температурой

$$t_{b2} = t_w + 10 \text{ °C.}$$

Холодопроизводительность ЭХМ Q_0 определяют исходя из располагаемой теплоты выпускных газов Q_g как

$$Q_0 = \zeta Q_g,$$

где ζ – тепловой коэффициент ЭХМ, $\zeta = 0,30 \dots 0,35$.

Рассмотрена рейсовая линия Мариуполь–Амстердам–Мариуполь. Значения температуры t и относительной влажности ϕ наружного воздуха, а также температуры заборной воды t_w в течение рейса брали по данным метеоцентра, фиксируемым каждые 3 часа. Исходя из них рассчитывали его влагосодержание d (рис. 3).

Как видно, на протяжении летнего рейса температура наружного воздуха $t_{нв}$ изменяется от 15...20 °C в средних широтах до 25...30 °C в южных (соответственно в машинном отделении температура воздуха на 10 °C выше), а относительная влажность воздуха $\phi_{нв}$ – от 50...60 % в Средиземном море до 80...90 % у Северо-Западной Европы.

Климатические условия на рейсовых линиях характеризуются значительными изменениями температуры и влажности не только в зависимости от района плавания, но и в течение суток. Так, в дневное время, особенно в часы максимальных температур $t_{нв}$, относительная влажность воздуха $\phi_{нв}$ минимальная, тогда как в ночное время при минимальных $t_{нв}$ относительная влажность $\phi_{нв}$, наоборот, максимальная (рис. 3).

Поскольку процессы охлаждения влажного воздуха сопровождаются конденсацией водяных паров, то отвод теплоты конденсации связан с дополнительными (по сравнению с охлаждением сухого воздуха) затратами холодопроизводительности. В то же время наличие дневных и ночных противоположно направленных экстремумов $t_{нв}$ и ϕ создает благоприятные условия для большего снижения температуры воздуха на входе ТК МОД днем (благодаря меньшей относительной влажности ϕ), когда имеет место значительное ухудшение топливной эффективности МОД из-за повышенных $t_{нв}$.

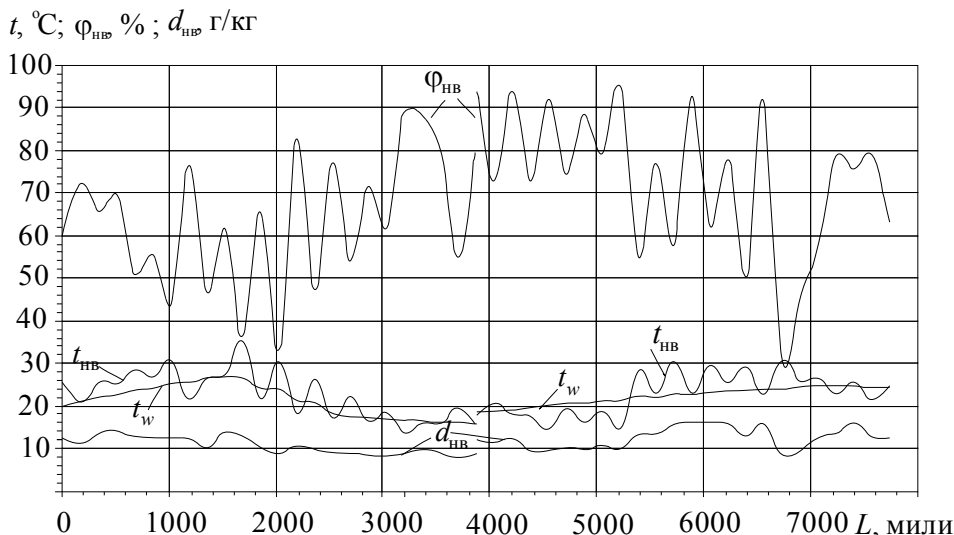


Рис. 3. Изменение температуры $t_{нв}$, относительной влажности $\phi_{нв}$ и влагосодержания $d_{нв}$ наружного воздуха, забортной воды t_w в течение рейса Мариуполь–Амстердам–Мариуполь (22.07.2009...3.08.2009)

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что при существенных колебаниях в течение суток температуры наружного воздуха $t_{нв}$ изменение температуры забортной воды t_w незначительное.

Для каждого промежутка времени (3 часа) и соответствующих ему температуры $t_{нв}$ и относительной влажности $\phi_{нв}$ наружного воздуха рассчитывали процессы охлаждения воздуха в охладителе от температуры воздуха на входе охладителя: $t_{в1} = t_{нв} + 10^\circ\text{C}$, до температуры $t_{в2}$.

При этом для каждого процесса вычисляли

значение коэффициента влаговыведения ξ , Расход воздуха $G_{в}$ через ТК рассчитывали с помощью программы корпорации MAN для конкретного двигателя в зависимости от температуры воздуха $t_{в2}$ на входе ТК [2].

Значения снижения температуры воздуха $\Delta t_{в}$ в И-ВО ТЭХМ на входе ТК и водяном ВО $\Delta t_{в.в}$, а также температуры воздуха на выходе из ВО: соответственно $t_{в2}$ и $t_{в.в2}$, при меняющихся в течение рейса температурах наружного воздуха $t_{нв}$ и забортной воды t_w приведены на рис. 4.

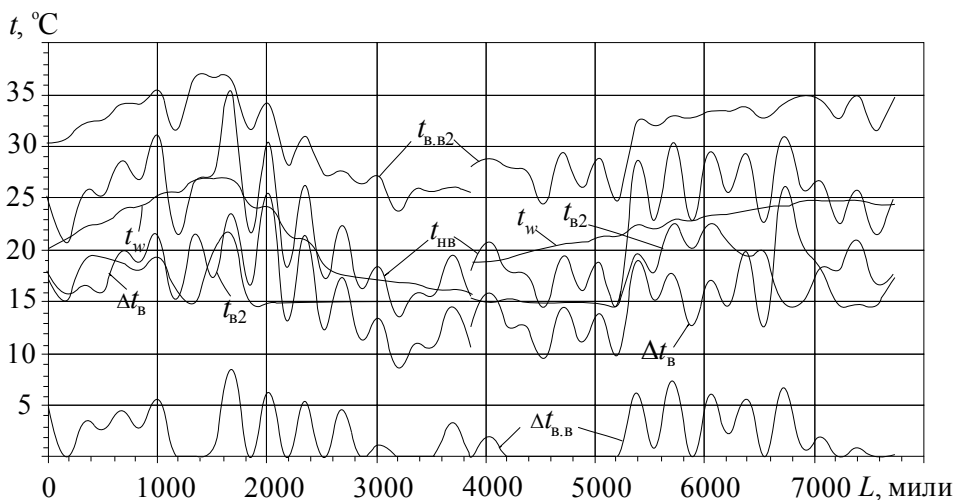


Рис. 4. Изменение температуры наружного воздуха $t_{нв}$ и забортной воды t_w , снижение температуры воздуха в охладителе ЭХМ $\Delta t_{в}$ и водяном охладителе $\Delta t_{в.в}$, а также соответствующие температуры воздуха на выходе из охладителя $t_{в2}$ и $t_{в.в2}$ в течение рейса Мариуполь–Амстердам–Мариуполь

Как видно, снижение температуры воздуха в охладителе ТЭХМ составляет $\Delta t_{в} = 10...20^\circ\text{C}$, тогда как в водяном охладителе $\Delta t_{в.в}$ не более 5°C . Поэтому при охлаждении воздуха на входе ТК МОД забортной водой его температура $t_{в.в2}$ на выходе из

охладителя остается всегда выше температуры наружного воздуха $t_{нв}$.

Ранее показано, что при использовании в ТЭХМ теплоты выпускных газов снижение температуры воздуха в охладителе на входе МОД $\Delta t_{в} = 10...13^\circ\text{C}$

(рис. 2 при $\xi = 2,5 \dots 2,0$), чего недостаточно для охлаждения воздуха на входе МОД до минимальной температуры (15°C), которая возможна при температуре кипения НРТ в охладителе воздуха $t_0 = 5^\circ\text{C}$ (при разности температур $t_{b2} - t_0 = 10^\circ\text{C}$, определяемой интенсивностью теплопередачи). Увеличить глубину охлаждения воздуха Δt_b , которая обеспечивала бы стабильно низкую температуру на входе ТК $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$ в течение всего рейса, можно, задействовав дополнительные источники теплоты для ТЭХМ, например наддувочный воздух.

Значения снижения температуры Δt_b воздуха в охладителе на входе ТК при использовании в ТЭХМ теплоты выпускных газов и наддувочного воздуха и другие показатели ТЭХМ даны на рис. 5.

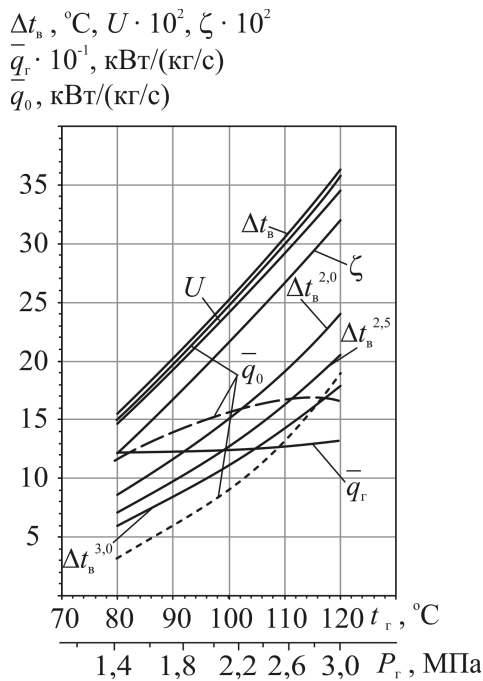


Рис. 5. Удельные теплота, отведенная от выпускных газов и наддувочного воздуха в генераторе ТЭХМ \bar{q}_g и холодопроизводительность ТЭХМ \bar{q}_0 , коэффициент эжекции U и тепловой коэффициент ζ , снижение температуры Δt_b воздуха в охладителе ТЭХМ на входе ТК в зависимости от температуры t_r и давления P_r кипения R142b в генераторе при разных коэффициентах влаговываждения ξ : $\Delta t_b^{3,0} \dots \Delta t_b^{2,0} - \xi = 1,0 \dots 3,0$;
 - - - - испарительная секция, \bar{q}_0 , \bar{q}_g , Δt_b ;
 ······ экономайзерная секция, \bar{q}_0 , \bar{q}_g , Δt_b ;
 — — генератор в целом, \bar{q}_0 , \bar{q}_g , Δt_b

Как видно, при температуре кипения НРТ в генераторе $t_r = 120^\circ\text{C}$ снижение температуры воздуха в охладителе ТТЭ, достигаемое исходя из располагаемой теплоты выпускных газов и надду-

вочного воздуха, составляет $\Delta t_b = 18 \dots 24^\circ\text{C}$ (при $\xi = 3,0 \dots 2,0$), что превышает требуемое ее значение для поддержания $t_{b2} = 15^\circ\text{C}$: $\Delta t_b = 10 \dots 20^\circ\text{C}$ (рис. 4).

Расходы топлива абсолютный V_T и удельный b_e в зависимости от снижения температуры воздуха на входе ТК рассчитывали с помощью фирменной программы для МОД корпорации MAN в зависимости от температуры воздуха t_{b2} на входе ТК, согласно которой 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 $1,2 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$.

О сокращении удельного расхода топлива Δb_e , экономии топлива в абсолютных V_T и относительных V_T' величинах в течение рейса Мариуполь–Амстердам–Мариуполь можно судить по рис. 6.

Из рис. 6 видно, что уменьшение удельного расхода топлива за счет охлаждения воздуха на входе ТК в ТЭХМ составляет $\Delta b_e = 1,5 \dots 2,5 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, относительная экономия потребления топлива $V_T' = 1,2 \dots 1,3 \%$, а абсолютная экономия потребления топлива за рейс для МОД мощностью 10 МВт составляет $V_T = 10 \text{ т}$.

В случае охлаждения воздуха заборной водой сокращение удельного расхода топлива $\Delta b_{e,в} = 0 \dots 0,5 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$, относительная экономия топлива $V_T' = 0,3 \%$, а абсолютная экономия топлива за рейс для МОД мощностью 10 МВт составляет менее $V_{T,в} = 2 \text{ т}$, что свидетельствует о его крайне низкой эффективности.

В зависимости от расхода воздуха количество влаги, отводимой в воздухоохладителе на входе ТК, может быть весьма значительным и покрывать потребности судна в пресной воде после ее дополнительной обработки. Появляется возможность отказаться от традиционных опреснительных установок, а пресную воду получать как побочный продукт в процессе охлаждения воздуха в поверхностном охладителе на входе ТК. При этом на вход МОД следует подавать воздух не из МО, а наружный, как это осуществляется на перспективных экологоэнергоэффективных проектах судов [3].

Конденсат, который отводится в охладителях воздуха, содержит и морскую воду, поэтому для использования конденсата как пресной воды его необходимо обессоливать. Наиболее целесообразным было бы применение для опреснения конденсата морской воды той же холодильной технологии, т.е. вымораживания. В этом случае установку охлаждения воздуха на входе МОД можно рассматривать еще и как опреснительную. В свою очередь теплоту горячей воды целесообразно задействовать в ТЭХМ для более глубокого охлаждения воздуха на входе МОД и соответственно сократить потребление топлива.

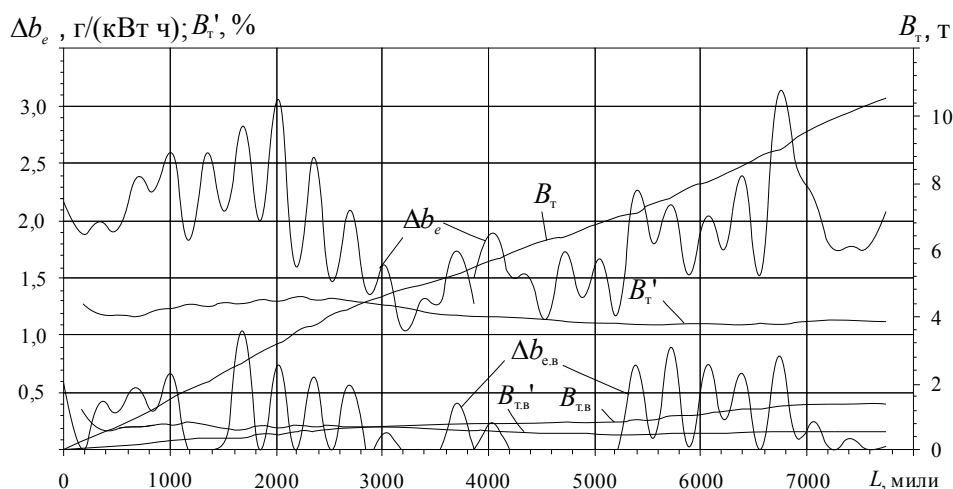


Рис. 6. Уменьшение удельного расхода топлива Δb_e , расхода топлива в абсолютных B_T и относительных B_T' величинах в течение рейса Мариуполь–Амстердам–Мариуполь: Δb_e , B_T и B_T' – охлаждение воздуха в ТЭХМ; $\Delta b_{e,B}$, $B_{T,B}$ и $B_{T,B}'$ – охлаждение воздуха заборной водой

Кроме того, теплоту на размораживание льда (теплоту таянья) также можно отводить от воздуха на входе МОД в часы пиковых нагрузок на систему охлаждения – при максимальных температурах наружного воздуха.

Такое использование и аккумулирование холода с применением фазовых переходов воды в цепи "конденсация водяного пара при охлаждении влажного воздуха – замораживание конденсата – таяние льда с отводом теплоты от влажного воздуха" обеспечивает эффективное использование всех субтехнологий теплоиспользующего охлаждения воздуха на входе малооборотного дизеля с максимальной адаптацией к климатическим условиям судовой эксплуатации со значительными суточными колебаниями тепловлажностных параметров морского воздуха.

Так, при максимальной влажности морского воздуха (вечерние и ночные часы) технология функционирует больше как опреснительная (с интенсивной конденсацией водяного пара из влажного воздуха), а при максимальной температуре воздуха в дневные часы (при меньшей его влажности) – как холодильная с глубоким охлаждением воздуха на входе МОД.

Выводы

Сравнение эффективности охлаждения воздуха на входе ТК МОД транспортного судна эжекторной холодильной машиной и заборной водой с учетом меняющихся в течение рейса тепловлажностных параметров наружного воздуха и температуры заборной воды показало, что применение ТЭХМ, использующей теплоту выпускных газов, обеспечивает охлаждения воздуха на входе ТК МОД на 15...20 °С и сокращение за счет этого удельного расхода топлива примерно на 2 г/(кВт·ч). Глубина охлаждения воздуха заборной водой незначительная – не более чем 5 °С, вследствие чего температура воздуха после водяного охладителя (на входе ТК МОД) остается всегда выше температуры наружного воздуха.

Литература

1. *Influence of Ambient Temperature Conditions on Main Engine Operation [Text]. – MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark. – 2005. – 15 p.*
2. *MAN B&W ME/ME-C/ME-GI/ME-B-TII engines [Text]. – Copenhagen, Denmark: MAN Diesel. – 2010. – 389 p.*
3. *Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission [Text]. – MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark. – 2005. – 12 p.*

Поступила в редакцию 18.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, профессор В.А. Голиков, Одесская национальная морская академия, Одесса, Украина.

**ОХОЛОЖДЕННЯ ПОВІТРЯ НА ВХОДІ ГОЛОВНОГО ДВИГУНА
ТРАНСПОРТНОГО СУДНА**

Р.М. Радченко, М.І. Радченко, Т. Бес, О.А. Сирота

Виконано порівняння ефективності охолодження повітря на вході турбокомпресора суднового малооборотного дизеля ежекторною тепловикористовуючою холодильною машиною, що утилізує теплоту випускних газів, і забортною водою. Визначено значення зниження температури повітря на вході турбокомпресора та відповідного скорочення питомої витрати палива головного дизеля на рейсовій лінії Маріуполь–Амстердам–Маріуполь з урахуванням зміни температури та вологості зовнішнього повітря та температури забортної води.

Ключові слова: судновий малооборотний дизель, охолодження повітря, утилізація теплоти, турбокомпресор, ежекторна холодильна машина, низькокипляче робоче тіло.

**COOLING OF AIR AT THE INLET OF MAIN ENGINE
OF TRANSPORT SHIP**

R.N. Radchenko, N.I. Radchenko, T. Bes, A.A. Sirota

A comparison of efficiency of cooling the air at the inlet of marine low speed diesel engine turbocompressor by ejector waste heat recovery cooling machine, utilizing the heat of exhaust gases, and by sea water is performed. The values of air temperature drop at the inlet of turbocompressor and corresponding decrease in specific fuel consumption of the main diesel engine at various temperature and humidity of the ambient air and sea water on the route Mariupol–Amsterdam–Mariupol were evaluated.

Key words: marine low speed diesel engine, cooling of air, heat utilization, turbocompressor, ejector cooling machine, low boiling working fluid.

Радченко Роман Николаевич – канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.

Радченко Николай Иванович – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой кондиционирования и рефрижерации Национального университета кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: andrad69@mail.ru.

Бес Тадеуш – д-р техн. наук, проф. Западно-Померанского технологического университета, Щецин, Польша.

Сирота Александр Архипович – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры экологической безопасности Черноморского государственного университета им. П. Могилы, Николаев, Украина.