

УДК 621.436.13:621.57

V. A. Golikov, doctor of technical sciences, professor
R. M. Radchenko, candidate of technical sciences, associate professor
N. S. Bohdanov, aspirant
National University "Odessa marine academy"
National University of Shipbuilding, Mykolaiv

IMPROVING THE SCAVENGE AIR COOLING SYSTEM OF COGENERATIVE MAINE MARINE DIESEL ENGINE

В. А. Голиков, д-р техн. наук, проф.,
Р. Н. Радченко, канд. техн. наук, доц.,
Н. С. Богданов, аспирант
Национальный университет "Одесская морская академия"
Национальный университет кораблестроения

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ КОГЕНЕРАЦИОННОГО ТИПА

В. А. Голиков, д-р техн. наук,
Р. М. Радченко, канд. техн. наук,
М. С. Богданов, аспирант
Національний університет "Одеська морська академія"
Національний університет кораблебудування

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ НАДДУВНОГО ПОВІТРЯ ГОЛОВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОГО ТИПУ

Анализ проблемы и постановка цели исследования

В качестве главных двигателей на судах применяются в основном малооборотные дизели (МОД). На их термодинамическую эффективность существенное влияние оказывает температура наддувочного воздуха. С ее повышением на 10 °С эффективный КПД МОД уменьшается примерно на 0,5 % и, соответственно, возрастает удельный расход топлива be [1–3].

В судовых МОД все более широкое распространение находят двухступенчатые системы охлаждения наддувочного когенерационного типа, когда высокотемпературная ступень охладителя наддувочного воздуха (ОНВ_{ВТ}) используется для нагрева воды на нужды судовой энергетической установки, например, для нагрева топлива,

масла, на теплофикационные цели, либо для нагрева питательной воды утилизационного пароводяного котла (УК). Такая система пароснабжения, использующая теплоту наддувочного воздуха для нагрева питательной воды УК в ОНВ_{ВТ} до температуры примерно 90 °С, а теплоту выпускных газов МОД – для окончательного ее нагрева и испарения в УК, обеспечивает утилизацию теплоты сразу двух основных ее источников, а сам МОД представляет собой, по сути, когенерационный модуль.

Однако, как показывает опыт эксплуатации, на транспортных судах при нагрузках главного двигателя свыше 50 % генерируемая теплота превышает потребности судовых потребителей, а при нагрузках главного двигателя 85...90 % это превышение составляет 50...100 % при температуре наружного воздуха около 0 °С [3]. При плавании судна в теплых климатических условиях потребности в паре не превышают 20...25 % производительности УК, что резко снижает коэффициент использования УК и систем утилизации в целом [3]. В то же время повышенные температуры наружного воздуха и соответственно воздуха в МО, откуда он поступает на всасывание ТК МОД, а также забортной воды в системе охлаждения наддувочного воздуха приводит к ухудшению термодинамической эффективности МОД: падению эффективных КПД и мощности, возрастанию удельного расхода топлива b_e [1–3].

Это весьма остро ставит проблему охлаждения воздуха на входе и наддувочного воздуха. Одним из направлений ее решения является применение машинного охлаждения воздуха, в частности, теплоиспользующими холодильными машинами (ТХМ), утилизирующими теплоту наддувочного воздуха, выпускных газов двигателей и других источников [4–6].

Цель работы – анализ эффективности усовершенствованной системы охлаждения наддувочного воздуха судового МОД когенерационного типа с использованием теплоты наддувочного воздуха для нагрева питательной воды парового УК и трансформацией теплоты полученного пара в холод эжекторной холодильной машиной.

Изложение основного материала. Схема системы пароснабжения с использованием теплоты наддувочного воздуха судового МОД для нагрева питательной воды УК в ОНВ_{ВТ} приведена на рис. 1.

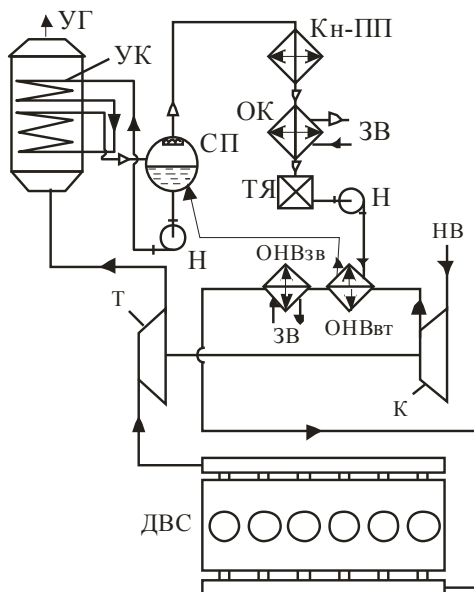


Рис. 1. Схема системы пароснабжения с использованием теплоты наддувочного воздуха судового МОД для нагрева питательной воды УК в ОНВ_{ВТ}: К и Т – компрессор и турбина ТК; ОНВ_{ВТ} – высокотемпературная (когенерационная) ступень ОНВ; ОНВ_{ЗВ} – ступень охлаждения забортной водой; СП – сепаратор пара; Кн-ПП – конденсатор пара-потребитель пара; ОК – охладитель конденсата забортной водой; ТЯ – теплый ящик; Н – насос; УГ – уходящие газы; НВ – наружный воздух; ЗВ – забортная вода

От потребителей пара отводится конденсат с температурой 80...90 °С, который охлаждается забортной водой до температуры 50...60 °С в охладителе конденсата ОК, после чего поступает в теплый ящик ТЯ. Конденсат, он же питательная вода УК, подают насосом из ТЯ сначала в ОНВ_{ВТ}, где он нагревается до температуры примерно 90 °С за счет теплоты, отводимой от наддувочного воздуха, а потом уже в сепаратор пара УК.

Как отмечалось, на транспортных судах при плавании в теплых климатических условиях потребности в паре не превышают 20...25 % производительности УК, т.е. 75...80 % остающейся теплоты пара может быть трансформировано холодильной машиной в холод, который в свою очередь использован для охлаждения воздуха на входе ТК или наддувочного воздуха на входе в рабочие цилиндры МОД.

Наиболее простой и надежной в эксплуатации из теплоиспользующих холодильных машин является эжекторная холодильная машина (ЭХМ). Использование в ЭХМ низкокипящего рабочего тела (НРТ) обеспечивает глубокое охлаждение воздуха без поддержания вакуума в испарителе НРТ-воздухоохладителе (И-ВО) на входе ТК или испарителе НРТ-охладителе воды (И-ОВ) промежуточного водяного контура охлаждения наддувочного воздуха.

На рис. 2 приведена схема трехступенчатой системы охлаждения наддувочного воздуха на базе ЭХМ, использующей теплоту водяного пара и конденсата.

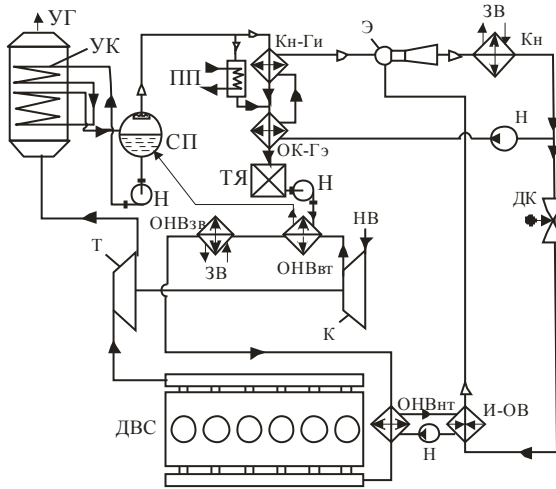


Рис. 2. Схема трехступенчатой системы охлаждения наддувочного воздуха на базе ЭХМ, использующей теплоту водяного пара и конденсата: К и Т – компрессор и турбина ТК; ОНВ_{вт} – высокотемпературная (когенерационная) ступень ОНВ; ОНВ_{зв} – ступень охлаждения забортной водой; СП – сепаратор пара; Кн-ПП – конденсатор пара-потребитель пара; ТЯ – теплый ящик; Н – насос; УГ – уходящие газы; НВ – наружный воздух; ЗВ – забортная вода; ЭХМ: Э – эжектор; Кн – конденсатор; ДК – дроссельный клапан; Г_н-Кн – испарительная секция генератора пара НРТ; Г₃-ОК – экономайзерная секция генератора пара НРТ-охладитель конденсата; И-ОВ – испаритель-охладитель воды

Высокопотенциальная теплота наддувочного воздуха после турбокомпрессора (ТК) отводится в высокотемпературной ступени ОНВ_{вт} к питательной воде УК, подаваемой из теплого ящика в сепара-

тор пара УК. Полученный в УК водяной пар конденсируется с отводом теплоты конденсации на испарение НРТ в генераторе ЭХМ.

Генератор ЭХМ состоит из двух секций: экономайзерной $\Gamma_э$, в которой происходит нагрев жидкого НРТ, поступающего из конденсатора ЭХМ с температурой конденсации, например $t_k = 35...45\text{ }^\circ\text{C}$, до температуры кипения НРТ в испарительной секции $\Gamma_и$ генератора $t_r = 100...120\text{ }^\circ\text{C}$. Для нагрева жидкого НРТ, поступающего из конденсатора ЭХМ с температурой конденсации, например $t_k = 35...45\text{ }^\circ\text{C}$, может быть задействована низкотенциальная теплота, в частности, отводимая от водяного конденсата, обычно охлаждаемого забортной водой до температуры $50...60\text{ }^\circ\text{C}$ в охладителе конденсата ОК перед поступлением в теплый ящик ТЯ.

Из генератора пары НРТ поступают в конденсатор ЭХМ, охлаждаемый забортной водой, и конденсируются, а жидкий НРТ после дросселирования испаряется в испарителе-охладителе воды (И-ОВ) при низком давлении, соответственно и температуре $t_0 = 2...5\text{ }^\circ\text{C}$, охлаждая воду, в свою очередь отводящую теплоту от наддувочного воздуха в ОНВ_{НТ}.

Такая ТСО представляет собой трехступенчатую трехконтурную систему охлаждения наддувочного воздуха с пресной водой – в первом, НРТ – во втором и забортной водой – в третьем, разомкнутом, контурах охлаждения. Она обеспечивает охлаждение наддувочного воздуха ниже температуры забортной воды.

На рис. 3 приведено изменение температуры воздуха t_b , пресной воды t_w и хладагента t_0 в генераторе и испарителе НРТ (И-ОВ), а также коэффициентов теплоотдачи к воде α_w , воздуху α_b , хладагенту α_a и теплопередачи k , приведенных к внутренней поверхности труб, температурного напора θ , плотности теплового потока q к внутренней поверхности труб и тепловой нагрузки Q по глубине L трехступенчатого ОНВ (по ходу воздуха) при температуре воздуха на выходе ОНВ_{ВТ} – его экономайзерной секции $t_{в2ЭС} = 110\text{ }^\circ\text{C}$.

Потенциально возможная минимальная температура охлажденного воздуха $t_{в2}$ на выходе из ОНВ_{НТ} зависит от температуры кипения НРТ $t_0 : t_{в2} = t_0 + 5\text{ }^\circ\text{C} + 12\text{ }^\circ\text{C}$, где $5\text{ }^\circ\text{C}$ – разница температур пресной воды и НРТ (хладагента) в И-ОВ, а $12\text{ }^\circ\text{C}$ – разница температур наддувочного воздуха и пресной воды промежуточного водяного контура охлаждения в ОНВ_{НТ}.

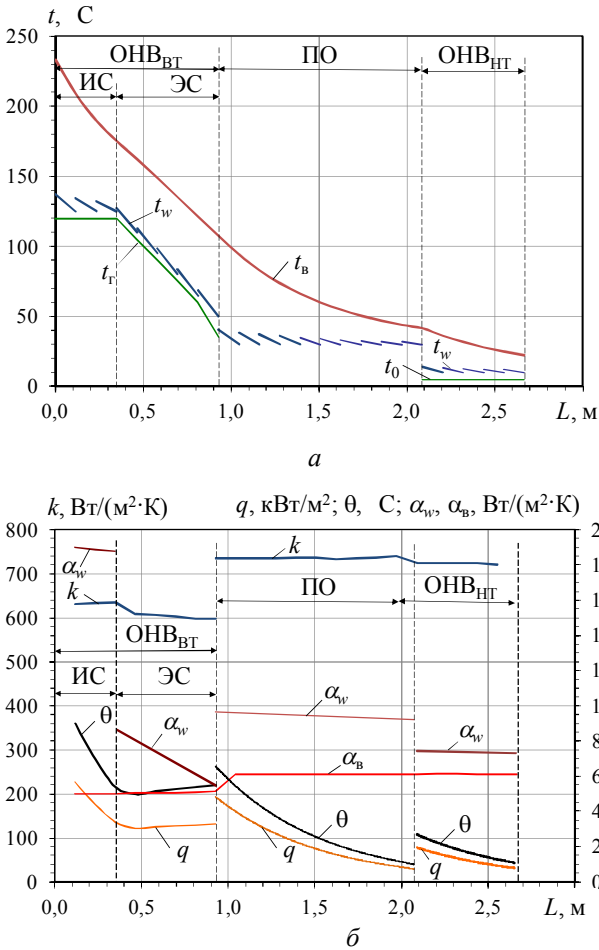


Рис. 3. Изменение температуры наддувочного воздуха t_b , пресной воды t_w промежуточного контура охлаждения (воздух-вода) и НРТ в генераторе t_T и испарителе t_0 ТЭХМ (а), а также коэффициентов теплоотдачи к воде α_w , воздуху α_B , хладагенту α_a и теплопередачи k , приведенных к внутренней поверхности труб, температурного напора θ , плотности теплового потока q к внутренней поверхности труб и тепловой нагрузки Q (б) по глубине L (по ходу воздуха) трехступенчатого ОНВ при температуре наддувочного воздуха на выходе из ОНВ_{ВТ} $t_{b2ЭС} = 110$ °С

Результаты расчетов показали, что при охлаждении наддувочного воздуха после ТК в ОНВ_{ВТ} до температуры $t_{b2ЭС} = 110$ °С темпера-

тура наддувочного воздуха после ОНВ_{НТ} составляет примерно $t_{в2} = 22\text{ }^\circ\text{C}$, т.е. практически равна потенциально возможной минимальной ее величине при температуре кипения НРТ $t_0 = 5\text{ }^\circ\text{C}$.

Изменение тепловой нагрузки Q , влагосодержания d , коэффициента влаговываждения ξ , количества влаги W , выпадающей из воздуха, и аэродинамического сопротивления ΔP по глубине L трехступенчатого ОНВ по воздуху ($t_0 = 5\text{ }^\circ\text{C}$; $t_{в2ЭС} = 110\text{ }^\circ\text{C}$) приведено на рис. 4.

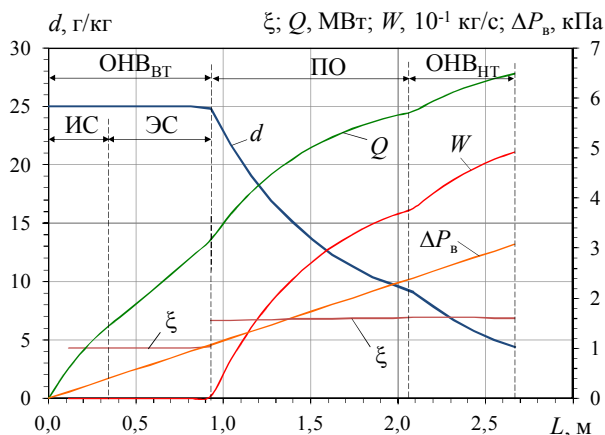


Рис. 4. Изменение тепловой нагрузки Q , влагосодержания d , коэффициента влаговываждения ξ , количества влаги W , выпадающей из воздуха, и аэродинамического сопротивления ΔP по глубине L трехступенчатого ОНВ по воздуху ($t_0 = 5\text{ }^\circ\text{C}$; $t_{в2ЭС} = 110\text{ }^\circ\text{C}$)

Как видно, глубина по ходу воздуха $L = 2,7$ м, аэродинамическое сопротивление $\Delta P = 2900\text{ Па}$ (рис. 4), что сопоставимо с показателями трубчато-пластинчатых двухступенчатых ОНВ систем наддува судовых МОД когенерационного типа.

ВЫВОДЫ

Предложена усовершенствованная трехступенчатая система охлаждения наддувочного воздуха судового МОД когенерационного типа с использованием теплоты наддувочного воздуха для нагрева питательной воды парового утилизационного котла (УК). В отличие от двухступенчатых охладителей судовых МОД когенерационного типа: с высокотемпературной ступенью отвода высокопотенциаль-

ной теплоты от наддувочного воздуха после турбокомпрессора на нагрев питательной воды УК и ступенью охлаждения наддувочного воздуха забортной водой, она включает дополнительную третью низкотемпературную ступень охладителя наддувочного воздуха, использующую холод, генерируемый эжекторной холодильной машиной, что обеспечивает охлаждение наддувочного воздуха ниже температуры забортной воды. В свою очередь, эжекторная холодильная машина для получения холода использует теплоту пара от УК при плавании в теплых климатических условиях, когда расход пара на теплофикационные нужды падает. Показано, что глубина трехступенчатого охладителя наддувочного воздуха, соответственно и его аэродинамическое сопротивление, сравнимы с их величинами для двухступенчатых охладителей судовых МОД когенерационного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Influence of Ambient Temperature Conditions. Main engine operation of MAN B&W two-stroke engines [Text]: MAN Diesel & Turbo, Copenhagen, Denmark, 2010. – 17 p.

2. Thermo Efficiency System (TES) for reduction of fuel consumption and CO₂ emission [Text]: MAN B&W Diesel A/S, Copenhagen, Denmark, 2005.

3. MAN B&W ME/ME-C/ME-GI/ME-B-TII engines [Text]. – Copenhagen, Denmark: MAN Diesel. – 2010.

4. 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.

5. Радченко А.Н. Ресурсосберегающая теплоиспользующая установка кондиционирования воздуха на входе дизеля транспортного судна [Текст] / А.Н. Радченко, Д.В. Коновалов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 5 (82). – С. 61–67.

6. Радченко, Р.Н. Основы рационального проектирования системы охлаждения наддувочного воздуха судового малооборотного дизеля эжекторным термотрансформатором [Текст] / Р.Н. Радченко, Н.С. Богданов, И.В. Калиниченко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 5(122). – С. 65–68.