

УДК 629.5.061.17

Рак А.Н., кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»,

Гутаревич В.О., доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»

УТИЛИЗАЦИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ ГЛАВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СУДНА

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы, связанные с утилизацией низкопотенциального тепла охлаждающей воды главных двигателей. Показано, что в настоящее время одним из способов оценки сокращения выбросов в атмосферу с морских судов является индекс энергоэффективности. На его величину в различной степени оказывает влияние традиционных, эффективных и инновационных технологий. К категории инновационных относятся и генераторы на основе органического цикла Ренкина. Как показывают расчеты, их мощность может быть небольшой, по сравнению с суммарной мощностью судовой электростанции, но оказывать существенное сокращение экологических сборов в целом ряде морских портов.

Ключевые слова: углеводороды, топливо, окислы, углерод, энергоэффективность, генератор, органический цикл

При сжигании углеводородного топлива, которое применяется для производства всех видов энергии на морских судах, в атмосферу выбрасываются окислы углерода (СОх) [1]. Они относятся к числу парниковых газов (ПГ). На их сокращении в настоящее время и сосредотачивается все большее внимание. Для этого в соответствии с рекомендациями международной Конвенции MARPOL 73/78 эмиссию ПГ следует учитывать с помощью коэффициента энергоэффективности (КЭ). При этом, учитывается влияние на КЭ как традиционных, так и инновационных технологий. Поэтому возникла необходимость рассмотрения вопроса о применении инновационной технологии - генератора, работающего по принципу органического цикла Ренкина (ОЦР).

На рис.1 приведена схема распределения теплового баланса

малооборотных главных двигателей (ГД). Из этого рисунка видно, что основным источником отработанного тепла ГД является тепловыделение от отработавших газов - 25%. Этот вид энергии на сегодняшний день является наиболее привлекательным из-за высоких значений теплового потока и температуры.

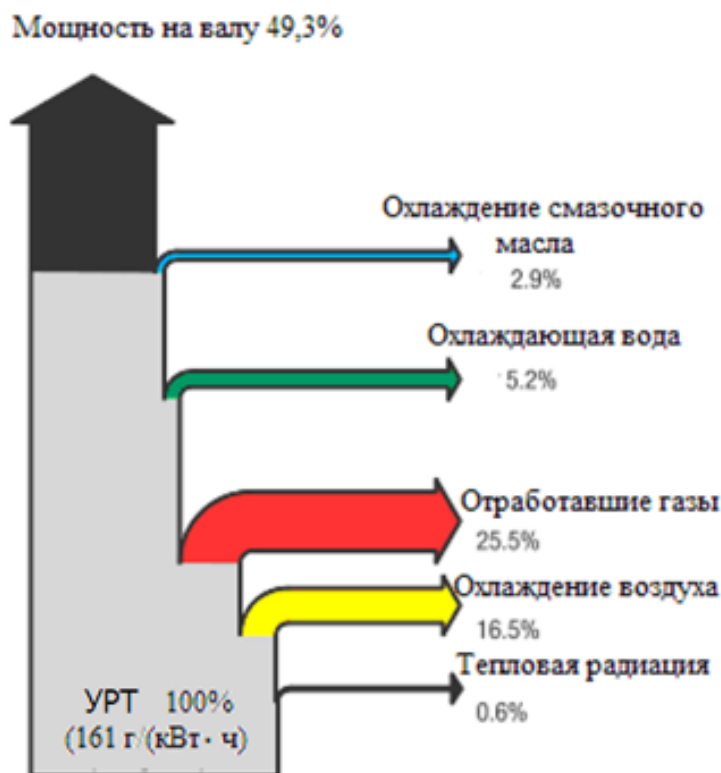


Рис. 1. Тепловой баланс главных двигателей

Следующим существенным источником является вода, охлаждающая ГД - 5,2%. Если ранее эта вода или охлаждалась в специальных радиаторах, или просто сливалась в океан, то в настоящее время, с развитием и совершенствованием целого ряда технологий появилась возможность использования и теплового потенциала воды из ГД [2]. Схема такой установки представлена на рис.2.

При этом информация о данном генераторе носит ограниченный характер, в большей степени можно сказать рекламный или информационный. Естественно, что в условиях эксплуатации может потребоваться большее

количество информации. Поэтому рассмотрим более детально этот вопрос.

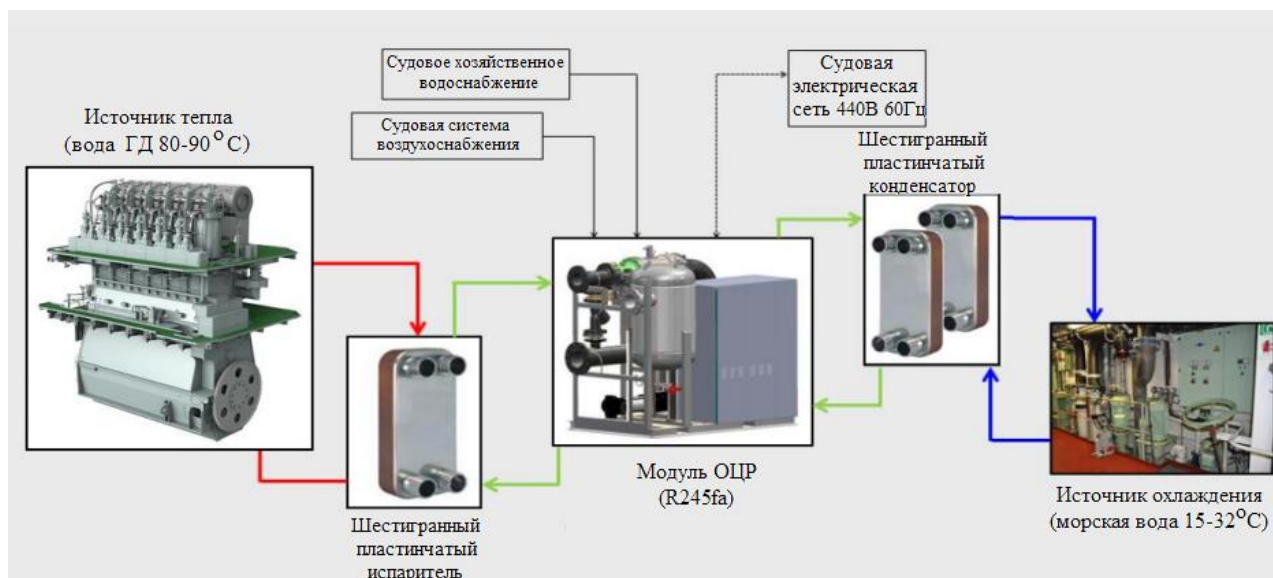


Рис. 2. Состав системы с использованием теплового потенциала воды из ГД

Для получения теоретической зависимости генерируемой мощности от расхода охлаждающей воды воспользуемся соотношениями, приведенными в [3]. При этом, принимаем равенство теплоты, отданное охлаждающей водой (Q_B) теплоте, переданной фреону R245fa (Q_{R245fa}):

$$Q_B = Q_{R245fa} \cdot \quad (1)$$

При этом:

$$Q_B = C_B \cdot Q_{B,OB} \cdot \Delta t \cdot \rho_B, \quad (2)$$

где C_B – удельная теплоемкость воды, 4,2 кДж/(кг·°C); $Q_{B,OB}$ – объемный расход воды, м³/с; Δt – разность температур воды, °C; ρ_B – плотность воды, кг/м³.

Действующая, генерируемая мощность турбины равна:

$$N_D = \frac{N_T}{\eta_{BH} \cdot \eta_M \cdot \eta_{ЭЛ}}, \quad (3)$$

где $\eta_{\text{вн}}$ – внутренний КПД турбины, принимаем 0,79; $\eta_{\text{м}}$ – механический КПД турбины, принимаем 0,98; $\eta_{\text{эл}}$ – электрический КПД турбины, принимаем 0,98; $N_{\text{т}}$ – теоретическая мощность турбины.

С учетом того, что:

$$N_{\text{т}} = G_{\text{ф}} \cdot (i_2 - i_1), \quad (4)$$

где $G_{\text{ф}}$ – массовый расход пара R245fa через турбину, кг/с; $(i_2 - i_1)$ – разность энтальпий R245fa, определяемая по $\lg P - i$ диаграмме (рис.3).

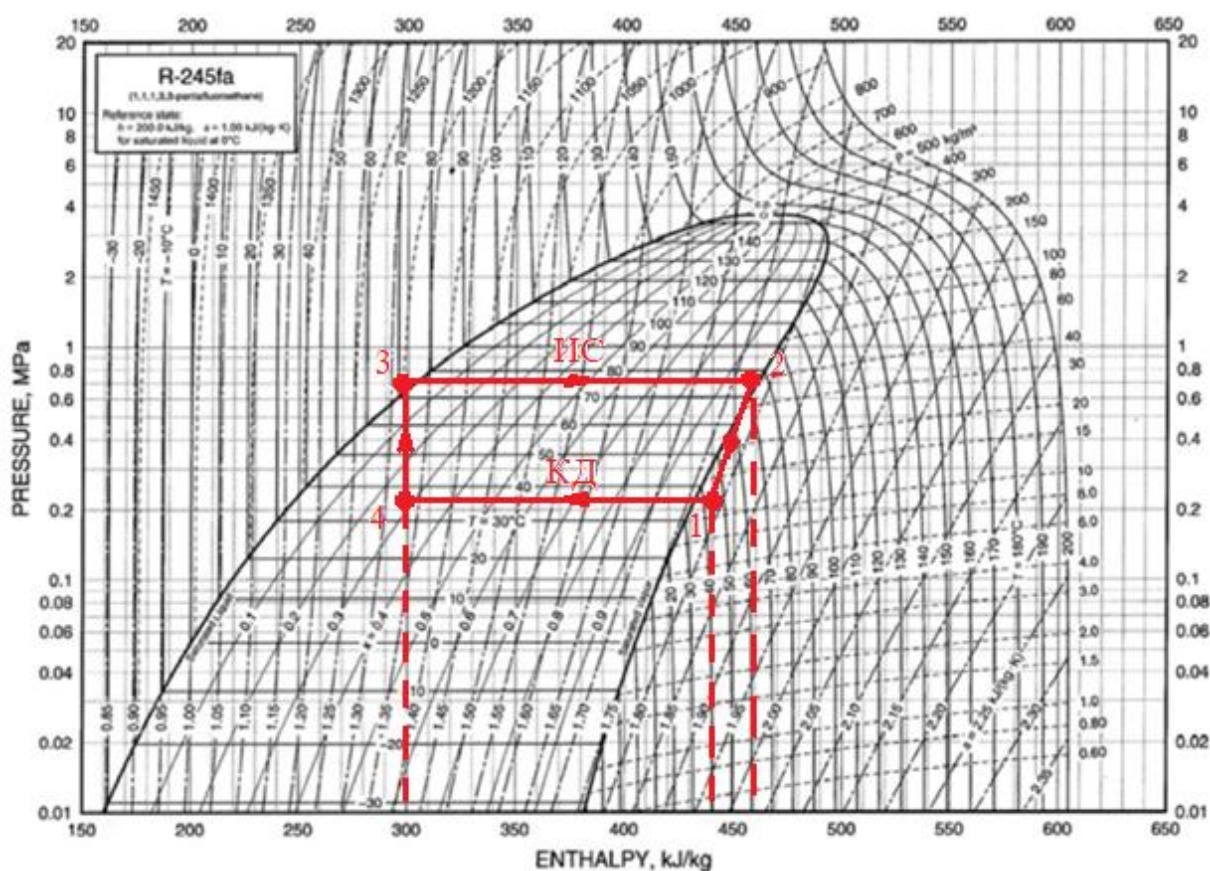


Рис. 3. $\lg P - i$ – диаграмма для определения энтальпий

Массовый расход пара R245fa определяется:

$$G_{\text{ф}} = \frac{Q_{R245fa}}{(i_2 - i_3)} = \frac{Q_{\text{в}}}{(i_2 - i_3)}. \quad (5)$$

С учетом формулы (2):

$$G_{\phi} = \frac{C_B \cdot Q_{B.OB} \cdot \Delta t \cdot \rho_B}{(i_2 - i_3)} = \frac{Q_B}{(i_2 - i_3)}. \quad (6)$$

На основании (3) и (4) имеем:

$$N_{\text{д}} = \frac{C_B \cdot (i_2 - i_1) \cdot \Delta t \cdot \rho_B}{(i_2 - i_3) \cdot \eta_{\text{вн}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{эл}}} \cdot Q_B. \quad (7)$$

По приведенным выше соотношениям была получена теоретическая зависимость генерируемой мощности в зависимости от расхода охлаждающей жидкости $P = f(Q)$ (рис.4).

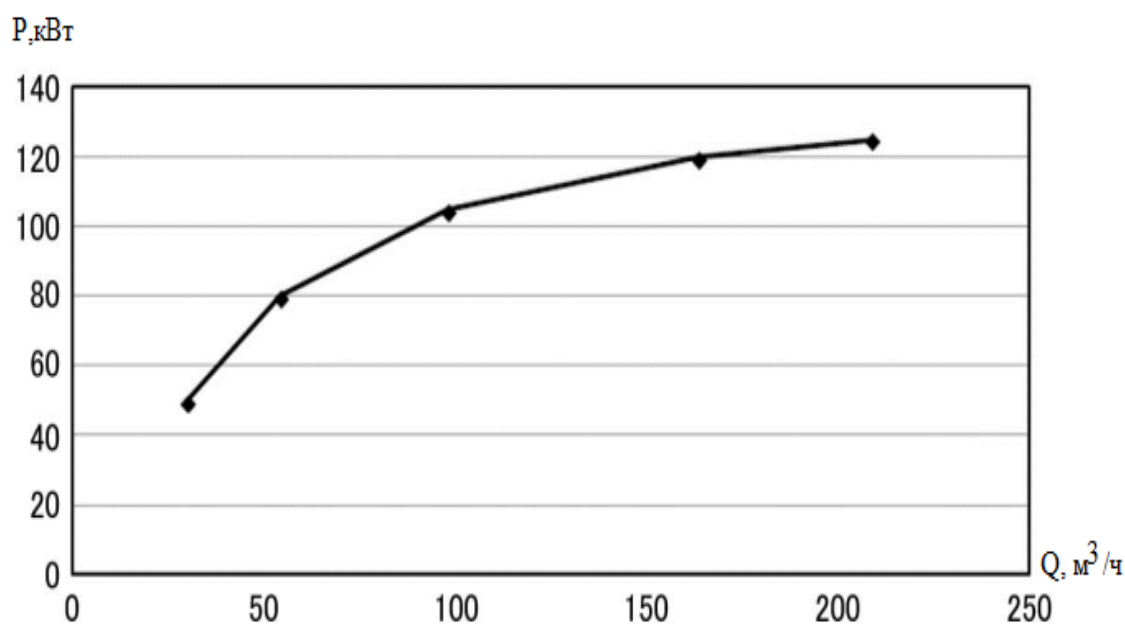


Рис. 4. Мощность, генерируемая модулем в зависимости от расхода охлаждающей воды

Из рис.4 следует, что, зная расход охлаждающей жидкости для соответствующего типа ГД, можно определить генерируемую модулем ОЦР мощность.

Также генерируемая модулем мощность зависит и от температуры охлаждающей воды (рис.5).

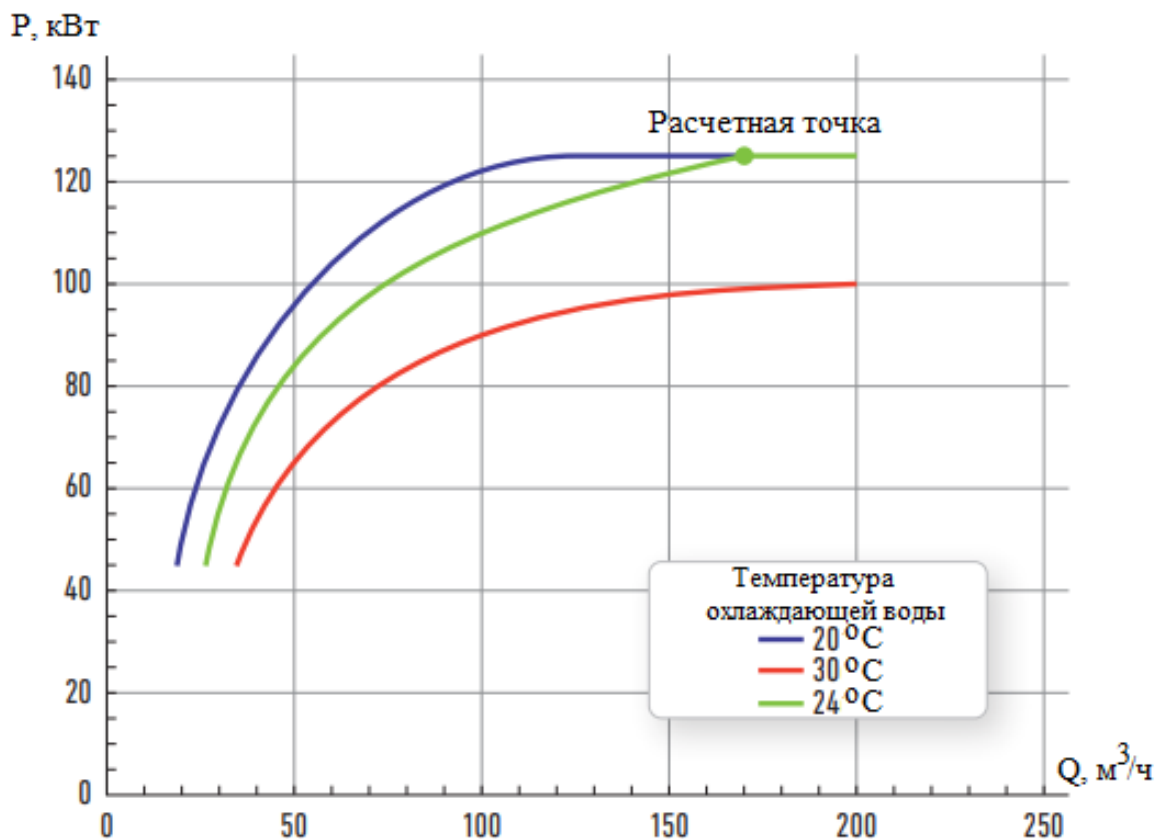


Рис. 5. Мощность, генерируемая модулем в зависимости от расхода охлаждающей воды и ее температуры

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Применение инновационной технологии на основании ОЦР позволяет не только повысить коэффициент энергоэффективности, но и сократить количество выбросов ПГ. При этом максимальная мощность такого генератора составит 125 кВт. Если принять, например, что удельный расход топлива для среднеоборотных судовых дизелей, которые применяются в качестве привода генераторов составляет 250 г/(кВт·ч), то экономия топлива будет 22,5 т в месяц.

2. Если сравнивать мощность, генерируемую ОЦР, с мощностью, потребляемой самим ГД – 69700 кВт или генерируемой тремя дизельными генераторами, например, мощностью 2500 кВт, которые входят в состав судовой электростанции контейнеровозов, то это величина оказывается значительно меньшей. При этом, применение такой инновационной

технологии является очень весомым в плане скидок при обработке морских судов в целом ряде зарубежных морских портов.

Список использованных источников

1. Рак А.Н., Гутаревич В.О. Анализ эффективных систем для сокращения выбросов в атмосферу NO_x, SO_x и CO_x с морских судов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : Материалы Пятой международной научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 18–21 октября 2022 года. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2022. – С. 108-112.
2. Труднев С.Ю. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: Судовые источники электрической энергии. Часть I: / С. Ю. Труднев, А. Н. Рак, А. А. Марченко. - Новокузнецк: Знание - М, 2021. - 188с.
3. Техническая термодинамика / Карнаух В.В., Бирюков А.Б., Ржесик К.А., Лебедев А.Н. - Донецк: ДонНУЭТ, 2020. – 486 с.

Rak A.N., candidate of technical Sciences, associated professor, Kamchatka State Technical University

Gutarevich V.O., doctor of technical Sciences, associated professor, Donetsk National Technical University

UTILIZATION OF LOW-POTENTIAL HEAT FROM THE COOLING WATER OF THE MAIN ENGINES TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF THE VESSEL

Abstract. Currently, one of the ways to assess the reduction of emissions from marine vessels is the energy efficiency index. Its value is influenced to varying degrees by conventional, efficient and innovative technologies. The category of innovative technologies includes generators based on the organic Rankine cycle. As calculations show, their capacity may be small compared to the total capacity of the ship's power plant, but have a significant reduction in environmental charges in a number of ports.

Keywords: hydrocarbons, fuel, oxides, carbon, energy efficiency, generator, organic cycle