

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья

УДК 621.182.3:629.2-843.9

Анализ главных энергетических установок ярусоловных судов

Владимир Викторович Маницын¹, Анатолий Николаевич Соболенко²

¹Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

²Морской государственный университет имени адм. Г.И. Невельского, Владивосток, Россия

¹maneitsynv@mail.ru

²sobolenko_a@mail.ru

Аннотация. Выявлены все типы используемых установок на малых и среднетоннажных ярусоловных судах, показаны их достоинства и недостатки, приведены технические характеристики ярусоловных судов и их главных энергетических установок (ГЭУ), рассчитаны показатели энергетической эффективности и определены тенденции их изменения в зависимости от водоизмещения судна и мощности главной установки.

Даются рекомендации при выборе предпочтительной ГЭУ для ярусоловного судна.

Ключевые слова: ярусоловное судно, главная энергетическая установка, реверс-редуктор, валогенератор, винт фиксированного шага, винт регулируемого шага, коэффициент энергоэффективности

Для цитирования: Маницын В.В., Соболенко А.К. Анализ главных энергетических установок ярусоловных судов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2022. Т. 60, № 2. С. 56–68.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

Analysis of the main power plants of longline vessels

Vladimir V. Manitsyn¹, Anatoliy N. Sobolenko²

¹Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

²Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok, Russia

¹maneitsynv@mail.ru

²sobolenko_a@mail.ru

Abstract. All types of installations used on small and medium-tonnage longline vessels are identified, their advantages and disadvantages are shown, technical characteristics of longline vessels and their main power plants (MPP) are given, energy efficiency indicators are calculated and trends in their changes depending on the displacement of the vessel and the power of the main installation are determined.

Recommendations are given when choosing the preferred MPP for a longline vessel.

Keywords: longline vessel, main power plant, reverse gear, valogenerator, fixed pitch screw, adjustable pitch screw, energy efficiency coefficient

For citation: Manitsyn V.V., Sobolenkob A.N. Analysis of the main power plants of longline vessels. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2022;60(2): 56–68. (in Russ.).

Введение

Задача выбора наиболее эффективной главной энергетической установки (ГЭУ) для ярусоловных весьма актуальна. Решение этой задачи предусматривает исследование таких направлений, как сокращение затрат на горюче-смазочные материалы и трудозатрат на техническое обслуживание и ремонт ГЭУ, обеспечение высокой маневренности и гибкости к режимам использования ГЭУ.

Технология ярусного лова заключается в постановке (сброс за борт) ярусных порядков с крючками с наживкой, лова рыбы на крючки и выборки яруса. Для того чтобы обеспечить управляемый ход судна, необходимо иметь ГЭУ, работающую при минимальном упоре гребного винта и способную осуществлять быстрый реверс упора.

При рассмотрении ГЭУ применялся сравнительный качественный анализ и расчётный анализ характеристик энергоэффективности.

Общие сведения

Ярусный лов применяется для добычи таких пород рыб, как треска, акула, меч-рыба, тунец, палтус и другие виды рыб. При лове, например, палтуса важно не только поймать рыбу, но и уметь быстро поднять ярус и снять её с крючка. Настоящим «бичом» для рыбаков здесь являются акулы-касатки, которые полностью выедают пойманного палтуса, оставляя голые крючки. На такой рыбалке идёт настоящее соревнование между акулами и рыбаками.

Конечно, в такой конкурентной борьбе надо иметь достаточно мощную и маневренную главную энергетическую установку.

Основными элементами ГЭУ являются: главный дизель (ГД), редуктор или реверс-редуктор, валогенератор, валопровод и движитель (винт фиксированного шага (ВФШ) или (винт регулируемого шага (ВРШ)).

В настоящее время ни в России, ни за рубежом не выработан единый подход к выбору элементов и схемы ГЭУ для судов ярусного лова, поэтому на этих судах эксплуатируются ГЭУ разных типов. Выполненный анализ ярусоловных судов с разными типами ГЭУ позволяет предложить научно обоснованный подход к обоснованию предпочтительного типа ГЭУ.

Процесс ярусного лова включает в себя три следующие операции: постановка яруса за борт, которая происходит при скорости судна $3 \div 3,5$ уз. Главный двигатель при этом работает на малом ходу с минимальным упором гребного винта. Важно, чтобы ГЭУ могла быстро и краткосрочно дать полный ход и отойти в случае сноса судна на ярусный порядок. Следующая операция наиболее длительная – лов рыбы. Судно находится в дрейфе, чётко позиционируясь с одного конца ярусного порядка. Здесь важно не допустить сноса судна на ярусный порядок и сильное удаление от него, могущее привести к потере ярусного порядка. Операция выборки ярусного порядка с уловом происходит при скорости судна $1,5 \div 2$ уз. Главный дви-

гатель при этом работает на самом малом ходу с минимальным или даже с нулевым упором гребного винта.

Режимы среднего и малых ходов судов на ярусном лове составляют 98 %, а режим полного хода – 2 % от всей наработки за промысловый рейс [3, 4].

В Дальневосточном промысловом бассейне, включая Приморский край, Сахалин, Курильские острова и Камчатку, на ярусном лове работает примерно 50 ярусоловов, построенных в Германии, Норвегии, Испании, Японии, Южной Кореи и США [4].

Из-за отсутствия ярусоловных судов отечественной постройки судовладельцы стали переоборудовать и модернизировать под ярусоловы отечественные суда (СРТМ пр. 502ЭМ типа «Василий Яковенко», СТР пр. 503 типа «Альпинист», РС 300 пр. 388М, ТР «Остров Ионы» пр. 1350, МРС пр.1322, МДС пр.1338, судно американской постройки СЯМ «Королева Эмеральда» и др.) [4], которые не предназначены для ярусного лова рыбы. Сравнительный анализ выполнен по восьми вариантам ГЭУ.

Варианты ГЭУ, использованные для сравнительного анализа:

1. ГЭУ с передачей крутящего момента посредством валопровода на винт фиксированного шага (классический вариант). ГЭУ включает в себя: ГД, валопровод, ВФШ.

2. ГЭУ с передачей крутящего момента посредством валопровода на винт регулируемого шага. ГЭУ включает в себя: ГД, валопровод, ВРШ.

3. ГЭУ с редукторной установкой и передачей мощности посредством валопровода на ВРШ и на отбор мощности от редуктора на валогенераторы. ГЭУ включает в себя: ГД, главный редуктор, раздаточный редуктор, валогенераторы, ВРШ.

4. ГЭУ с гребным электродвигателем и ВФШ (дизель-электроход). ГЭУ включает в себя: главные дизель-генераторы, гребной электродвигатель, ВФШ.

5. ГЭУ с реверс-редуктором и передачей крутящего момента через реверс-редуктор и валопровод на ВРШ. ГЭУ включает в себя: ГД, реверс-редуктор, валопровод, ВРШ.

6. ГЭУ с реверс-редуктором и передачей крутящего момента на ВФШ. ГЭУ включает в себя: ГД, реверс-редуктор, валопровод, ВФШ.

7. ГЭУ с реверс-редуктором и передачей мощности посредством валопровода на ВРШ и на отбор мощности от редуктора на валогенераторы. ГЭУ включает в себя: ГД, реверс-редуктор, валогенератор, ВРШ.

8. ГЭУ с реверс-редуктором и передачей мощности посредством валопровода на ВРШ и на мультипликатор для отбора мощности на валогенератор. ГЭУ включает в себя: ГД, реверс-редуктор, валопровод, мультипликатор, валогенератор, ВРШ.

Для оценки энергетической эффективности судов воспользуемся величиной коэффициента, формула определения которого, модифицированная для судов, имеющих ГД и ВДГ, имеет вид [7, 8]

$$EEDI = \frac{P_{ME} \cdot SFC_{ME} \cdot SF_{ME} + P_{AE} \cdot SF_{AE} \cdot SF_{ME}}{f_{iCSR} \cdot DWT \cdot Vref}, \quad (1)$$

где $P_{ME} = \Sigma(0,75P_{me\text{ ном}})$ – показатель мощности главных двигателей.

При наличии валогенератора показатель мощности

$$P_{ME} = \Sigma 0,75(MCR - P_{PTO}), \quad (2)$$

где SFC_{ME} – удельный эффективный расход топлива главными двигателям, г/(кВт·ч); $SF_{ME} = 3,114$ – безразмерный коэффициент между расходом топлива в двигателе (г) и выбросами CO_2 (г), определёнными по содержанию углерода С в топливе (г CO_2 /г топлива); $P_{AE} = 0,05\Sigma MCR$ – показатель требуемой мощности вспомогательных двигателей при максимальной нагрузке судовой электростанции в морском режиме;

$f_{iCSR} = 1,0 + 0,08LWTCSR/DWTCSR$ – корректирующий фактор; WTCSR – водоизмещение судна, т; DWTCSR – дедвейт судна, т.

Важным показателем СЭУ является также энергонасыщенность судна [2]

$$\alpha_m = \frac{N_{\Sigma}}{W}, \quad (3)$$

где N_{Σ} – суммарная длительная максимальная мощность, подводимая к движителям; W – водоизмещение судна, для которого определяется спецификационная скорость (полное водоизмещение при осадке по грузовую марку).

Сравнительный анализ главных энергетических установок

Главная энергетическая установка с прямой передачей крутящего момента на гребной винт фиксированного шага

Основные характеристики судов и их энергетических установок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики судов и их энергетических установок с прямой передачей крутящего момента на винт фиксированного шага

Table 1

Characteristics of ships and their power plants with direct transmission torque per fixed pitch screw

Тип судна	РС-300 пр. 388М [4]	ТР «Остров Ионы» пр. 1350	СРТМ- 502ЭМ типа «Василий Яковенко»	СТР пр. 503 типа «Альпинист»
Место постройки	г. Астрахань	г. Хабаровск	СССР	г. Ярославль
Год постройки	1967	1992	1985	1976
Длина мах, м	33,97	54,99	54,8	53,7
Ширина, м	7,09	9,3	9,8	10,5
Высота борта, м	3,61	5,16	5	6,0
Водоизмещение, т	318,8	1202	1136	1202
D_w	85,7	505	400	341
Скорость судна, уз	9,0	11	11,6	12,6
Главный дизель с прямой передачей на ВФШ	8NVD36 (8ЧРН32/36)	6NVD48A-2U (6ЧРН32/48)	(8 NVD48A-2U) 8ЧНР32/48	(8NVD48 A-2U) 8ЧНР32/48
Мощность ГД, кВт	220	590	852	970
Удельный эффективный расход топлива ГД, г/(кВт·ч)	245	214	214	214
Мощность ВДГ, кВт	86+60	168x3	4x100	2x168
Удельный эффективный расход топлива ВДГ, г/(кВт·ч)	245	225	225	225
Тип передачи	Прямая передача на ВФШ	Прямая передача на ВФШ	Прямая передача на ВРШ	ГД, главный редуктор, раздаточный редуктор, валогенератор (300 кВт), ВРШ

Преимущества: ГД 6NVD48A-2U, тронковый, реверсивный, работает по винтовой характеристике. Система реверса с помощью ГД надёжная. Коэффициент полезного действия главной энергетической установки с прямой передачей крутящего момента посредством валопровода на ВФШ высокий и составляет (0,96...0,98) [1]. Невысокая первоначальная стоимость установки.

Недостатки: ГД для реверса останавливают с целью изменения газораспределения при помощи распределительного вала, а затем вновь запускают. Ресурс дизеля при этом уменьшается, так как изнашивание деталей при реверсе увеличивается. В составе судовой электростанции должен постоянно работать вспомогательный дизель-генератор, чтобы обеспечивать судовую сеть электрической энергией. Тем самым возрастают затраты на топливо и на техническое обслуживание и ремонт СЭУ за счёт затрат на ВДГ.

ГЭУ с передачей крутящего момента посредством валопровода на винт регулируемого шага

Преимущества: ГД NVD48A-2U, тронковый, реверсивный, работает по винтовой характеристике. Система реверса надёжная. КПД главной энергетической установки с прямой передачей крутящего момента посредством валопровода на ВРШ высокий и составляет (0,96...0,98) [5].

Недостатки: в составе судовой электростанции должен постоянно работать вспомогательный дизель-генератор, чтобы обеспечивать судовую сеть электрической энергией. Тем самым возрастают затраты на топливо и на техническое обслуживание и ремонт СЭУ за счёт затрат на ВДГ.

Главная энергетическая установка с редукторной установкой и передачей мощности посредством валопровода на ВРШ и на отбор мощности от редуктора на валогенераторы.

В качестве примера рассмотрим средний траулер-рефрижератор (СТР) пр. 503 типа «Альпинист» [5].

Состав ГЭУ включает в себя: главный двигатель, главный редуктор, раздаточный редуктор, валогенераторы и ВРШ.

Преимущества: ГД 8NVD48A-2U, тронковый, реверсивный, работает по нагрузочной характеристике. КПД главной энергетической установки с редукторной передачей крутящего момента на валогенератор и на ВРШ составляет (0,96...0,94) [1]. Установка данного типа позволяет при неполной нагрузке на главный дизель обеспечивать электрической энергией судно, используя валогенераторы посредством отбора мощности от главного дизеля. Тем самым повышается экономичность работы СЭУ, поскольку стоимость электрической энергии, получаемой от валогенератора, примерно в два раза меньше стоимости электрической энергии, вырабатываемой вспомогательными дизель-генераторами. К числу достоинств следует отнести надёжную систему реверса и невысокую первоначальную стоимость установки.

Недостатки: необходимость поддерживать номинальную частоту вращения ГД при включённом валогенераторе на малых и самых малых ходах судна приводит к недоиспользованию энергетических возможностей ВРШ. При одной и той же относительной поступи КПД гребного винта может быть разным при разном шаговом отношении. Особенно большие потери имеют место при шаге нулевого упора, которые составляют 25÷30 % номинальной мощности ГД.

ГЭУ с гребным электродвигателем и ВФШ (дизель-электроход)

Установка включает в себя главный дизель-генератор, гребной электродвигатель и винт фиксированного шага.

Преимущества: ГД среднеоборотный, тронковый, нереверсивный, работает по нагрузочной характеристике.

Относительно свободное размещение главного дизеля в машинном помещении, возможность увеличения площади для увеличения ёмкости трюмов и размещения технологического оборудования. ГЭУ более экономична на режимах долевых нагрузок и переменных ходах, а также на промышленных режимах с высоким потреблением электрической энергии. Возможно применение агрегатного метода ремонта главных дизелей, что значительно сокращает время нахождения судна в ремонте.

Недостатки: более низкий коэффициент полезного действия данной передачи (0,86) по сравнению с прямой передачей крутящего момента на ВФШ (0,96...0,98) и дизель-редукторной (0,92 ...0,94) [1], более высокая первоначальная стоимость (на 10... 15 %) по сравнению с традиционной ГЭУ с прямой передачей крутящего момента на ВФШ.

Главная энергетическая установка с реверс-редуктором и передачей крутящего момента на винт регулируемого шага (без отбора мощности на валогенератор)

Установка включает в себя главный двигатель, реверс-редуктор и ВРШ.

В качестве примера такие ГЭУ установлены на ярусных морозильных судах «Шурша», «Восток-3», «Восток-4», «Восток-6» и «Восток-8», табл. 2 [5].

Реверс-редуктор включает в себя редуктор и реверсивно-разобщительную муфту с ручным или гидравлическим управлением.

Реверс-редуктор позволяет осуществлять передний и задний ход судну и холостую работу ГД, изменяя частоту и направление вращения валопровода без реверсирования и изменения оборотов ГД.

Преимущества: ГД среднеоборотный, тронковый, нереверсивный, работает по нагрузочной характеристике. КПД главной энергетической установки с редукторной передачей крутящего момента на валогенератор и на ВРШ составляет (0,96...0,94). ГЭУ этого типа предоставляет возможность выбора оптимального сочетания шагового отношения гребного винта и частоты его вращения, что обеспечивает экономичный режим работы ГЭУ.

Недостатки: для обеспечения судна электроэнергией требуется постоянная работа вспомогательного дизель-генератора, что повышает общий расход топлива и приводит к необходимости дополнительного технического обслуживания и ремонта вспомогательного дизель-генератора.

Таблица 2

Главная энергетическая установка с передачей крутящего момента на винт регулируемого шага через реверс-редуктор и валопровод

Table 2

The main power plant with the transmission of torque to the adjustable pitch screw by means of a reverse gearbox and a shaft line

Тип судна	ЯМС «Восток-3»	ЯМС «Восток-4»	ЯМС «Восток-6»	ЯМС «Восток-8»
1	2	3	4	5
Место постройки	Япония	Япония	Япония	Япония
Год постройки	1992	1989	1991	2004
Длина мах, м	49,1	49,56	49,1	56,77
Ширина, м	8,8	8,7	8,8	9,0
Высота борта, м	3,8	6,2	3,8	3,9
Водоизмещение, т	703	699	720	1020

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Дедвейт, т	162,3	161	167,2	304
Скорость судна, уз	12	13,4	10	11
Главный дизель с прямой передачей на ВФШ	NIIGATA 6M28BFT	NIIGATA 6M28HFT	NIIGATA 6M28HFT	HANSHIN LH28RG
Мощность, кВт	698	698	699	810
Удельный эффективный расход топлива ГД, г/(кВт·ч)	212	227	212	197
Мощность ВДГ, кВт	308x2	308x2	308x2	320x2
Удельный эффективный расход топлива ВДГ, г/(кВт·ч)	215	215	215	209
Тип передачи	ГД, реверс-редуктор, ВРШ	ГД, мультипликатор, валогенератор, реверс-редуктор, ВРШ	ГД, реверс-редуктор, ВРШ	ГД, реверс-редуктор, ВРШ

ГЭУ с реверс-редуктором и передачей крутящего момента на ВФШ, табл. 3 [4]

Таблица 3

Главная энергетическая установка с передачей крутящего момента на винт фиксированного шага посредством реверс-редуктора и валопровода

Table 3

The main power plant with the transmission of torque to the screw of a fixed pitch by means of a reverse gearbox and a shaft line

Тип судна	(МРС) пр. 1322	(МДС) пр.1338	СЭМ «Королева Эмеральда»
Место постройки	Благовещенск	Благовещенск	США
Год постройки	1967	1976	1982
Длина мах, м	23,75	21,94	42,6
Ширина, м	6,15	6,0	10,36
Высота борта, м	2,68	2,65	-
Водоизмещение, т	146,3	95,6	885
Дедвейт, т	32,3	25,5	334
Скорость судна, уз	11	9	9
Главный дизель	6ЧНСП 18/22	6ЧНСП 15/18	Caterpillar -3412E
Мощность, кВт	165	110	2x537
Частота вращения, мин ⁻¹	750	1500	1800
Удельный эффективный расход топлива ГД, г/(кВт·ч)	231,2	214	228
Мощность ВДГ, кВт	60+38	29,8	
Удельный эффективный расход топлива ВДГ, г/(кВт·ч)	245	252	
Тип передачи	ГД, реверс-редуктор, ВФШ	ГД, реверс-редуктор, ВФШ	два ГД, два редуктора, два ВФШ

ГЭУ с реверс-редуктором и передачей крутящего момента на винт фиксированного шага (без отбора мощности на валогенератор), табл. 4 [6].

Таблица 4

Главная энергетическая установка с реверс-редуктором и передачей крутящего момента на винт фиксированного шага (без отбора мощности на валогенератор)

Table 4

**Main power plant with reverse gear and torque transmission to a fixed pitch screw
(without power take-off to the generator)**

Тип судна	ЯС «Триумф»	ЯС «Восток-7»
Место постройки	Япония	Япония
Год постройки	1992	1988
Длина мах, м	51,3	50,91
Ширина, м	9,1	9,0
Высота борта, м	3,9	6,19
Водоизмещение, т	1098	819
Дедвейт, т	393	368
Скорость судна, уз	12,5	13
Главный дизель	HANSHINLH28RG	HANSHIN LH28RG
Мощность, кВт	1103	735
Удельный эффективный расход топлива ГД, г/(кВт·ч)	193	194
Мощность ВДГ, кВт	320x2	320x2
Удельный эффективный расход топлива ВДГ, г/(кВт·ч)	196	196
Тип передачи	ГД, реверс-редуктор, ВФШ	ГД, реверс-редуктор, ВФШ

Преимущества: ГД работает по винтовой характеристике, при реверсе дизель не останавливается и может работать на минимальной частоте вращения (25...30) % от номинальной мощности.

Недостатки: для обеспечения судна электроэнергией требуется постоянная работа вспомогательного дизель-генератора, что повышает общий расход топлива и приводит к необходимости дополнительного технического обслуживания и ремонта судовых механизмов (затраты на обслуживание вспомогательного дизель-генератора примерно на 35 % больше, чем валогенератора).

ГЭУ с реверс-редуктором, валогенератором и передачей крутящего момента на винт регулируемого шага [6]

На ярусоловных судах «Восток-1», «Восток-2», «Восток-5» установлен ГД с реверс-редуктором, который передаёт крутящий момент на валогенератор и ВРШ, табл. 5.

Таблица 5

Главная энергетическая установка с реверс-редуктором, валогенератором и передачей крутящего момента на винт регулируемого шага

Table 5

The main power plant with a reverse gearbox, a valogenerator and the transmission of torque to an adjustable pitch screw

Тип судна	ЯС «Восток-1»	ЯС «Восток-2»	ЯС «Восток-5»
Место постройки	Испания	Япония	Япония
Год постройки	1997	1987	1988
Длина мах, м	41,5	37,02	43,75
Ширина, м	9,5	7,5	8,3
Высота борта, м	4,6	3,15	3,6
Водоизмещение, т	716	431	607
Дедвейт, т	397	88,2	135,6
Скорость судна, уз	10,1	10,5	13,5
Главный дизель	CAT3512 DITA	YANMAR T240-ET2	NIIGATA6M28BFT
Мощность кВт	780	618	699
Удельный эффективный расход топлива ГД, г/(кВт·ч)	218	203	227
Частота вращения, мин ⁻¹	1200		
ВДГ, мощность	270x2	240	264
Удельный эффективный расход топлива ВДГ, г/(кВт·ч)	191	205	215
Тип передачи	ГД, реверс-редуктор, ВРШ, валогенератор $N=280$ кВт	ГД, реверс-редуктор, ВРШ, валогенератор $N=240$ кВт	ГД, реверс-редуктор, ВРШ, мультипликатор, валогенератор $N=264$ кВт

Преимущества: установка данного типа позволяет при неполной нагрузке на главный дизель, что имеет место на средних и малых ходах судна, обеспечивать электрической энергией судно, используя валогенераторы посредством отбора мощности от главного дизеля. Тем самым повышается экономичность работы СЭУ, поскольку стоимость электрической энергии, получаемой от валогенератора, примерно в два раза меньше стоимости электрической энергии, вырабатываемой вспомогательными дизель-генераторами.

Недостатки: необходимость поддерживать номинальную частоту вращения ГД при включённом валогенераторе на долевых нагрузках двигателя приводит к недоиспользованию энергетических возможностей ВРШ. При одной и той же относительной поступи КПД гребного винта может быть разным при разном шаговом отношении гребного винта. Особенно большие потери имеют место при шаге нулевого упора, которые составляют 25÷30 % номинальной мощности ГД.

ГЭУ с реверс-редуктором и передачей крутящего момента на винт регулируемого шага, на мультипликатор и на валогенератор [6]

На ярусоловных судах «Восток-5» и «Восток-4» в носовой части ГД установлен мультипликатор и валогенератор. ГД работает по нагрузочной характеристике.

Преимущества: ГЭУ позволяет при неполной нагрузке на главный дизель на средних и малых ходах судна снабжать электрической энергией судовые потребители посредством отбора от него мощности на валогенератор. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой валогенератором, примерно в два раза меньше стоимости электрической энергии, получаемой от вспомогательного дизель-генератора.

Недостатки: энергетические возможности ГЭУ на малых ходах судна используются не полностью.

Необходимость поддерживать номинальную частоту вращения ГД при включённом валогенераторе на малых и самых малых ходах судна приводит к недоиспользованию энергетических возможностей ВРШ. При одной и той же относительной поступи КПД гребного винта может быть разным при разном шаговом отношении гребного винта. Особенно большие потери имеют место при шаге нулевого упора, которые составляют 25÷30 % номинальной мощности ГД.

С целью уменьшения количества вспомогательных дизель-генераторов (ВДГ) и экономии расхода топлива на ярусоловных судах («Восток-4» и «Восток-5») устанавливают мультипликатор с носовой части ГД и валогенератор.

Расчёты показателя энергоэффективности и показателя энергонасыщенности судовой энергетической установки

Рассчитанные значения коэффициента энергетической эффективности $EEDI$ и показателя энергонасыщенности судна α_m приведены в табл. 6.

Таблица 6

Значения показателя энергоэффективности с расчётами и показателя энергонасыщенности

Table 6

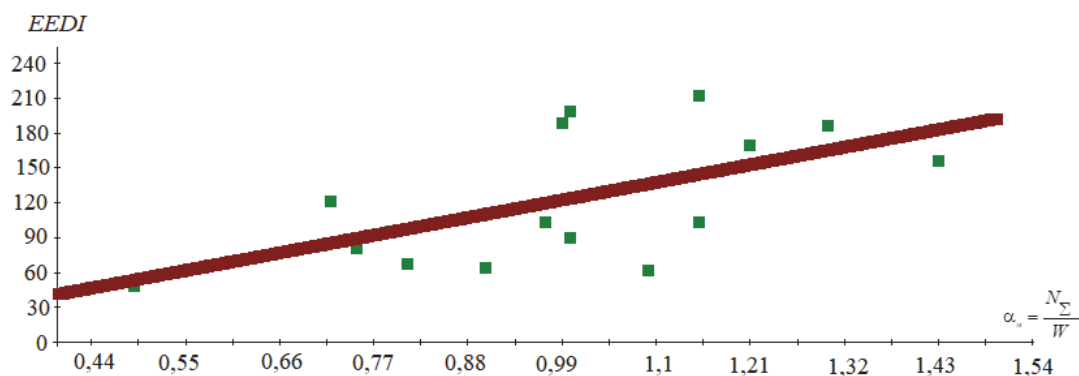
Values of the energy efficiency indicator with calculations and the indicator energy saturation

Тип судна	Коэффициент энергоэффективности $EEDI$	Показатель энергонасыщенности ГЭУ, кВт/т
1	2	3
РС-300 пр. 388М	$\frac{165 \cdot 220 \cdot 3,151 + 11 \cdot 224 \cdot 3,151}{1,3 \cdot 85,7 \cdot 9} = 121,8$	0,72
ТР «Остров Ионы» пр. 1350	$\frac{442,5 \cdot 214 \cdot 3,151 + 29,5 \cdot 225 \cdot 3,151}{1,19 \cdot 505 \cdot 11} = 48,3$	0,49
СРТМ-502ЭМ типа «Василий Яковенко»	$\frac{639 \cdot 214 \cdot 3,151 + 42,6 \cdot 225 \cdot 3,151}{1,227 \cdot 400 \cdot 11,6} = 81,0$	0,75
СТР пр. 503 типа «Альпинист»	$\frac{502,5 \cdot 214 \cdot 3,151 + 48,5 \cdot 225 \cdot 3,151}{1,28 \cdot 341 \cdot 12,6} = 67,8$	0,81
ЯМС «Восток-3»	$\frac{523,5 \cdot 212 \cdot 3,151 + 34,9 \cdot 215 \cdot 3,151}{1,35 \cdot 162,3 \cdot 9} = 189,3$	0,99
ЯМС «Восток-4»	$\frac{523,5 \cdot 212 \cdot 3,151 + 34,9 \cdot 215 \cdot 3,151}{1,35 \cdot 161 \cdot 9} = 198,8$	1,0
ЯМС «Восток-6»	$\frac{524,3 \cdot 212 \cdot 3,151 + 35 \cdot 215 \cdot 3,151}{1,17 \cdot 343 \cdot 9} = 103,5$	0,97

Окончание табл. 6

1	2	3
ЯМС «Восток-8»	$\frac{607,5 \cdot 197 \cdot 3,151 + 40,5 \cdot 209 \cdot 3,151}{1,27 \cdot 304 \cdot 11} = 95,0$	0,79
(МРС) пр. 1322	$\frac{123,8 \cdot 214 \cdot 3,151 + 8,3 \cdot 245 \cdot 3,151}{1,36 \cdot 32,3 \cdot 11} = 186,0$	1,3
(МДС) пр.1338	$\frac{82,5 \cdot 228 \cdot 3,151 + 5,5 \cdot 252 \cdot 3,151}{1,3 \cdot 25,6 \cdot 9} = 212,5$	1,15
СЭМ «Королева Эмеральда»	$\frac{805,5 \cdot 228 \cdot 3,151 + 53,7 \cdot 228 \cdot 3,151}{1,21 \cdot 885 \cdot 9} = 169,6$	1,21
ЯС «Триумф»	$\frac{827,3 \cdot 193 \cdot 3,151 + 55,1 \cdot 196 \cdot 3,151}{1,22 \cdot 393 \cdot 12,5} = 89,6$	1,0
ЯС «Восток-7»	$\frac{551,5 \cdot 194 \cdot 3,151 + 36,8 \cdot 196 \cdot 3,151}{1,18 \cdot 368 \cdot 13} = 63,7$	0,9
ЯС «Восток-1»	$\frac{375 \cdot 218 \cdot 3,151 + 39 \cdot 191 \cdot 3,151}{1,14 \cdot 397 \cdot 10,1} = 61,5$	1,09
ЯС «Восток-2»	$\frac{283,5 \cdot 203 \cdot 3,151 + 30,9 \cdot 203 \cdot 3,151}{1,39 \cdot 88,2 \cdot 10,5} = 155,9$	1,433
ЯС «Восток-5»	$\frac{326,3 \cdot 227 \cdot 3,151 + 35 \cdot 215 \cdot 3,151}{1,35 \cdot 135,6 \cdot 13,5} = 103,9$	1,15

На рисунке приведена корреляционная зависимость коэффициента энергоэффективности $EEDI$ от показателя энергонасыщенности судна α_m .



Значения коэффициента энергетической эффективности $EEDI$ в зависимости от показателя энергонасыщенности ярусоловного судна α_m
 The values of the energy efficiency coefficient $EEDI$ depending on the energy saturation indicator of the longline vessel α_m

Как видно из графика на рисунке, с увеличением показателя энергонасыщенности судна показатель энергоэффективности ухудшается. При увеличении α_m на каждые 0,1 $EEDI$ увеличивается в среднем на 13,8. Эта зависимость для ярусоловного судна может быть аппроксимирована корреляционной формулой

$$EEDI = 138 \cdot \alpha_m - 14. \quad (4)$$

Результаты анализа

Анализ ГЭУ и мировой опыт их эксплуатации показал, что пока нет единого подхода при проектировании и строительстве ярусоловных судов и их главных энергетических установок. На ярусоловных судах («Восток Адонис», «Восток Вега», «Восток Сириус», «Триумф», «Восток-7») установлены главные дизели, которые работают по винтовой характеристике и передают крутящий момент через реверс-редуктор на винт фиксированного шага, на этих судах нет валогенераторов, а судовая электростанция включает два вспомогательных дизель-генератора. На ярусоловных судах («Восток-1», «Восток-2», «Восток-3», «Восток-4», «Восток-5», «Восток-6», «Восток-8») установлены четырёхтактные, среднеоборотные ГД, которые работают по нагрузочной характеристике и передают крутящий момент через реверс-редуктор на валогенератор и на ВРШ с целью уменьшения количества вспомогательных дизель-генераторов (ВДГ).

Наряду с вышеприведёнными качественными сравнительными характеристиками приведём сравнение по количественной характеристике – коэффициенту энергетической эффективности *EEDI*. Несмотря на некоторую условность в определении его значения для промысловых судов, этот коэффициент позволяет при равных допущениях выполнять сравнительную оценку типов СЭУ. Его значение для сравниваемых типов ярусоловов находится в пределах 48,3÷263. Наихудшими значениями показателя энергоэффективности обладают ярусоловные малые суда ЯМС «Восток-3», «Восток-4», «Восток-6», «Восток-9», имеющие ГЭУ с передачей крутящего момента на винт регулируемого шага через реверс-редуктор. Для них значение *EEDI* находится в пределах от 108 до 198,8. Наилучшими с точки зрения энергетической эффективности являются суда «Остров Ионы» и СТР «Альпинист».

В целом, наблюдается следующая тенденция: чем больше значение отношения суммарной мощности главной установки к водоизмещению судна, тем хуже значение коэффициента энергоэффективности.

Заключение

Проведенный анализ ГЭУ позволяет сделать вывод, что предпочтительным типом для судов ярусного лова, на наш взгляд, является ГЭУ, в состав которой входит ГД, реверс-редуктор, валогенератор, валопровод и ВРШ. Наряду с гибкими манёвренными свойствами этот тип обладает сравнительно лучшей энергоэффективностью, что позволяет рекомендовать его для выбора этого типа СЭУ при строительстве новых ярусоловов.

Список источников

1. Ваншейдт В.А., Гордеев П.А., Захаренко Б.А., Истомин П.А., Коптев К.Н., Чурбанов Б.М., Шишкин В.Г., Яковлев Г.В. Судовые установки с двигателями внутреннего сгорания: учебник. Л.: Судостроение, 1978. 363 с.
2. Голубев Н.В. Проектирование энергетических установок морских судов. Л.: Судостроение, 1980. 312 с.
3. Коршунов Л.П. Энергетические установки промысловых судов: учебник. Л.: Судостроение, 1991. 360 с.
4. Маницын В.В. Технология технического обслуживания и ремонта судов: учеб. пособие. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2019. 380 с.
5. Флот рыбной промышленности: справочник. М.: Транспорт, 1990. 384 с.
6. Интернет источник. <http://www.HITACHI NICO TRANSMISSION.ru>.
7. Медведев В.В., Гаврилов В.В., Киселев С.Н. Обзор и анализ возможностей различных способов повышения энергетической эффективности судов // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 2–1.

8. Соболенко А.Н., Симашов Р.Р. Судовые энергетические установки: дипломное проектирование: учеб. пособие. М.: Моркнига, 2015. Ч. II. 426 с.

References

1. Vansheydt V.A., Gordeev P.A., Zakharenko B.A., Istomin P.A., Koptev K.N., Churbanov B.M., Shishkin V.G., Yakovlev G.V. Ship installations with internal combustion engines: textbook. L.: Shipbuilding, 1978. 363 p.
2. Golubev N.V. Design of power installations of sea vessels. L.: Shipbuilding, 1980. 312 p.
3. Korshunov L.P. Power installations of commercial vessels: textbook. L.: Shipbuilding, 1991. 360 p.
4. Manitsyn V.V. Technology of maintenance and repair of ships; studies. the staff. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2019. 380 p.
5. Fishing industry fleet: directory. M.: Transport, 1990. 384 p.
6. Internet source, <http://www.HITACHI NICO TRANSMISSION.ru>.
7. Medvedev V.V., Gavrilov V.V., Kiselev S.N. Review and analysis of the possibilities of various ways to improve the energy efficiency of ships // Marine intellectual technologies. 2018. No. 2–1.
8. Sobolenko A.N., Simashov R.R. Ship power plants: diploma project: textbook. M.: Morkniga, 2015. Ch. II. 426 p.

Информация об авторах

В.В. Маницын – кандидат технических наук, доцент, SPIN-код: 5430-1504, AuthorID: 814237;

А.Н. Соболенко – доктор технических наук, профессор, SPIN-код: 9772-5366, AuthorID: 439376.

Information about the authors

V.V. Manitsyn – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, SPIN-code: 5430-1504, AuthorID: 814237;

A.N. Sobolenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, SPIN-code: 9772-5366, AuthorID: 439376.

Статья поступила в редакцию 11.05.2022, одобрена после рецензирования 14.05.2022, принята к публикации 21.06.2022.

The article was submitted 11.05.2022, approved after reviewing 14.05.2022, accepted for publication 21.06.2022.