

УДК 621.432.542.5

DOI: 10.37890/jwt.vi78.462

Анализ эксплуатации и отказов энергетической установки на скоростных судах с полупогружными винтами

В.Р. Сaitгареев

Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия

Аннотация. Последнее столетие судостроение тесно связано с решением острейшей проблемы повышения скорости движения судов. Строители быстроходных судов привычно обосновывают эту борьбу за скорость в связи с требованиями современного рынка. В России, как и во всем мире, есть потребность в современных, скоростных, манёвренных и экономичных судах. Для реализации указанной потребности ЦМКБ «Алмаз» разработал, Рыбинский завод «Вымпел» запустил в серию скоростное судно с полупогружными винтами проекта 12150 «Мангуст». В настоящее время выпущено около 75 судов [1]. В данной статье проведен анализ работы зарубежных и отечественных двигателей, накопленный при эксплуатации высокооборотных двигателей MTU 10V2000M93 (производство - Германия), ЗВЕЗДА М470МК-М3 (производство - Россия) установленных на скоростных судах проекта 12150. В частности, сведения о наиболее характерных отказах деталей элементов главных энергетических установок и пропульсивного комплекса в целом, а также о возможных причинах возникновения и развития типичных неисправностей двигателей, установленных на указанных скоростных судах, которые позволяют оценить преимущества и недостатки используемой энергетической установки.

Ключевые слова: двигатель, привод Арнесона, скоростные суда, полупогружные винты, проект 12150, MTU 10V2000M93, М470МК-М3, пропульсивный комплекс, импортозамещение.

The analysis of operation and failures of a power plant on high-speed vessels with semi-submersible propellers

Vadim R. Saitgareev

Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia

Abstract. For the last century shipbuilding has been closely connected with the solution of the acute problem of increasing the speed of ships. Builders of high-speed vessels habitually justify this struggle for speed in connection with the requirements of the modern market. In Russia, as well as all over the world, there is a need for modern, high-speed, maneuverable and economical vessels. To meet this need, Almaz Central Design Bureau has developed and Rybinsk Vimpel Plant has launched a high-speed vessel with semi-submersible propellers of project 12150 "Mongoose". Currently, about 75 ships have been launched [1]. This article analyzes the work of foreign and domestic engines accumulated during the operation of high-speed engines MTU 10V2000M93 (manufactured in Germany), ZVEZDA M470MK-M3 (manufactured in Russia) installed on high-speed vessels of the project 12150. In particular, information about the most characteristic failures of the components of the main power plant elements and the propulsion system as a whole, as well as possible causes of the occurrence and development of typical engine failures installed on these high-speed vessels, which allow to evaluate the advantages and disadvantages of the used power plant.

Keywords: engine, Arneson drive, high-speed vessels, semi-submersible propellers, project 12150, MTU 10V 2000 M 93, M470MK-M3, propulsive complex, import substitution.

Введение

Высокоскоростные глиссирующие суда прибрежной зоны проекта 12150 «Мангуст» (рис. 1) предназначены для использования в МЧС, таможенной службе, рыбоохране и т.д.



Рис. 1. Скоростное судно «Мангуст» проекта 12150

Данные суда развивают скорость до 48 узлов при водоизмещении 28 тонн. Максимальная дальность плавания 410 миль при скорости 36 узлов. Двухвальная энергетическая установка таких судов (рис. 2) состоит из двух высокооборотных двигателей суммарной мощностью до 2400 кВт, реверс-редукторов, торсионных валов и приводов Арнесона с полупогруженными винтами фиксированного шага (рис. 3). Основные режимы движения такого типа судов: водоизмещающий и глиссирующий.

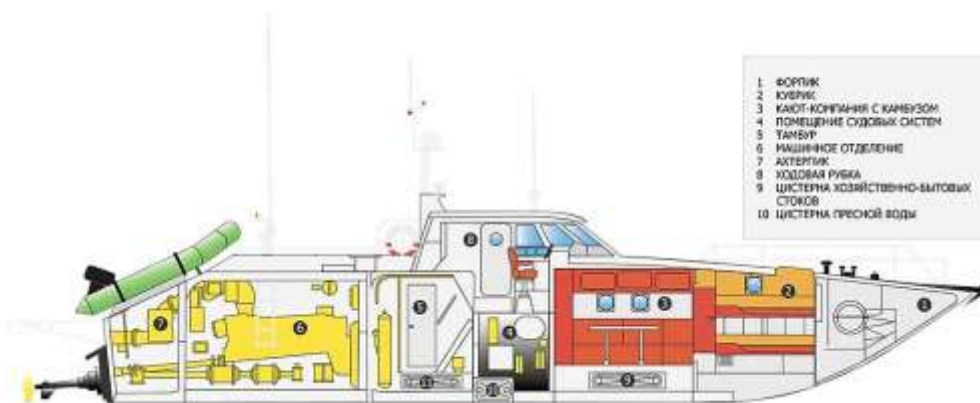


Рис. 2. Разрез судна проекта 12150 [2]

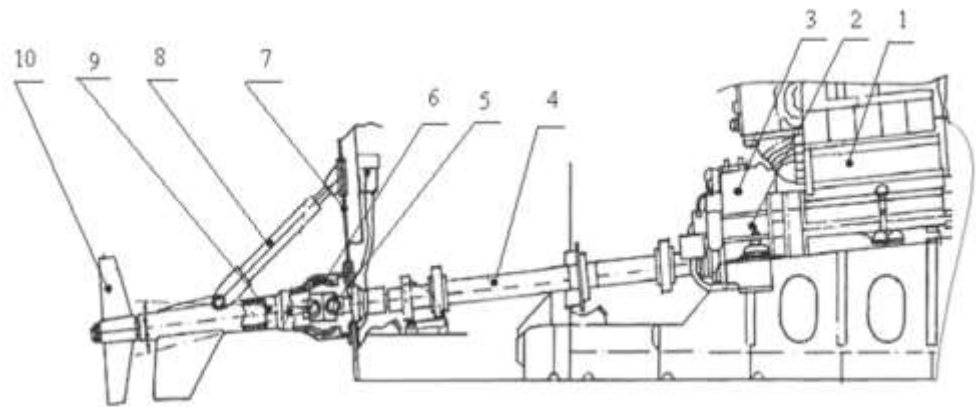


Рис. 3. Пропульсивный комплекс скоростного судна проекта 12150:
 1 – главный двигатель; 2 – реверс-редуктор; 3 – эластичная муфта; 4 – торсионный вал;
 5 – карданная муфта; 6 – сферический шарнир; 7 – корпус (транец судна); 8 – гидроцилиндр;
 9 – гребной вал; 10 – гребной винт [3]

Результаты анализа

Проведен анализ интенсивности использования судов проекта 12150 эксплуатируемых в Азово-Черноморском бассейне РФ. В качестве главных двигателей (далее - ГД) установлены: M470МК-М3 (РФ), MTU 10V2000M93 (Германия). Судно может переходить в глиссирующий режим при работе только двух двигателей.

Данный анализ показал, что средняя наработка главной энергетической установки не превышает 12 % от годового фонда рабочего времени (рис. 4). Это вызвано подъемом в зимний период судов на слип, низкой мореходностью и существующей сложностью в организации сервисного обслуживания импортного оборудования.

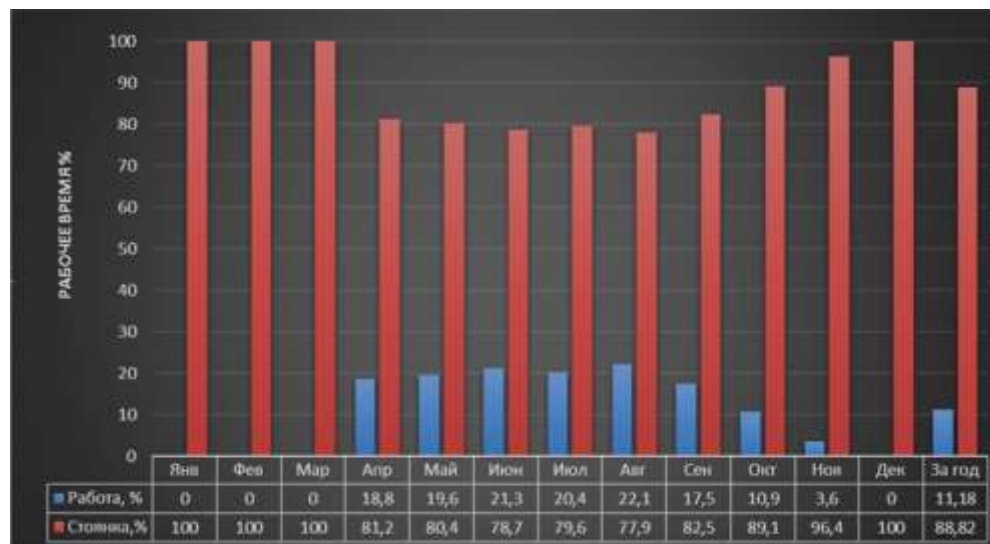


Рис. 4. Среднегодовые наработки ГД в эксплуатации

Данные по времени работы ГД на различных режимах приводятся на круговой диаграмме (рис. 5, 6). Основные режимы работы ГД MTU 10V2000M93 от 2100 до 2400 мин⁻¹ составляют около 55 % от общего количества времени работы двигателей.

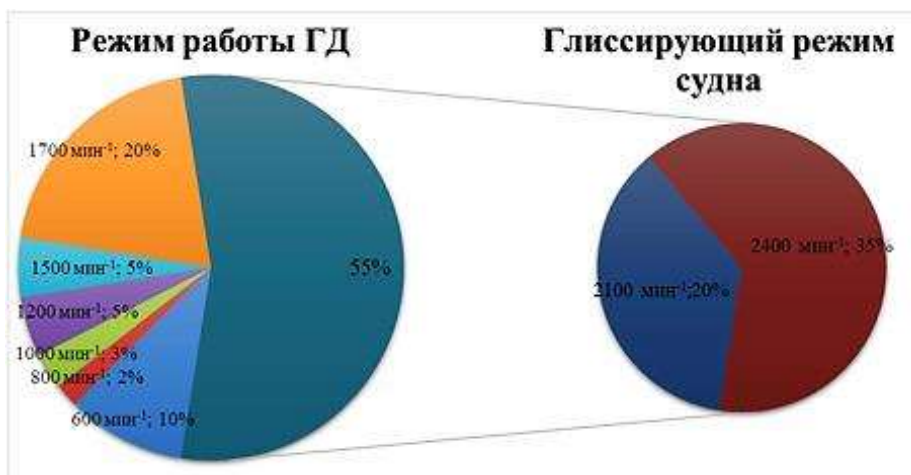


Рис. 5. Время эксплуатации ГД MTU на различных режимах работы.

Основные режимы работы ГД M470MK-M3 от 1300 до 1600 мин⁻¹ составляют около 60 % от общего количества времени работы двигателей.

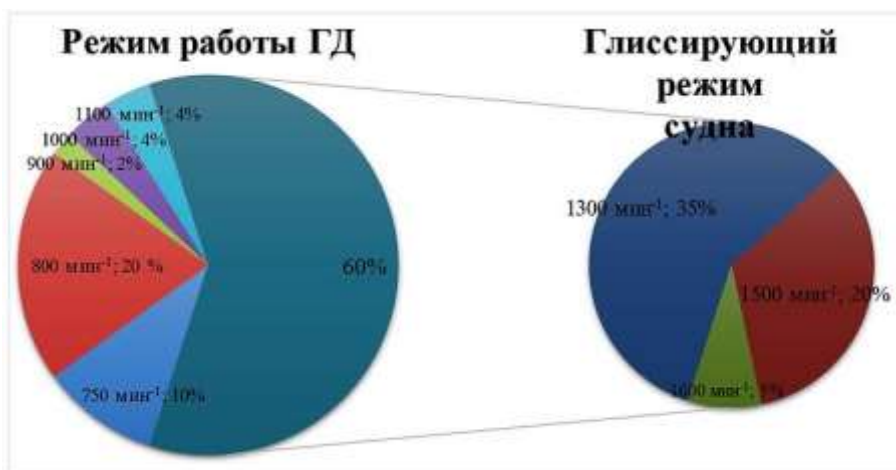


Рис. 6. Время эксплуатации ГД M470 на различных режимах работы

Средняя наработка ГД составляет около 250 часов в год из 1000 часов, рассчитанных производителем.

В целях установления наибольшего количества отказов технических средств энергетической установки скоростных судов проекта 12150 проведен анализ выходов из строя узлов всего пропульсивного комплекса (далее - ПК). Выделены основные элементы: корпус судна (1); ГД (2); реверс-редуктор (3); эластичная муфта (4); торсионный вал (5); опорно-упорный подшипник (6); гребной винт (7); привод Арнесона (8).

В таблице 1 приведены характерные отказы, дефекты и повреждения основных элементов ПК скоростных судов за 10 лет эксплуатации в Азово-Черноморском

бассейне РФ. Источником информации послужили: формуляры судов и технических средств ПК.

Таблица 1

Отказы, дефекты и повреждения основных элементов ПК

№ п/п	Основные узлы	Неисправности, %	Номера судов										Всего	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Корпус судна	2		1								1		2
2	ГД	43	1		2	2	1	1	10	8	5	7		37
3	Реверс-редуктор	3,5	1	1			1							3
4	Эластичная муфта	3,5		1		1		1						3
5	Торсионный вал	8	1	1	1	1	2	1						7
6	Опорно-упорный подшипник	3,5		1	1		1							3
7	Гребной винт	5,5	1	1		2		1						5
8	Привод Арнесона	31	4	2	4	3	5	4	1	1	1	1		27
Общее количество:		100	8	8	8	9	10	8	11	9	7	8		87

Из таблицы 1 видно, что наибольшее количество отказов и повреждений при эксплуатации допускается в узлах ПК: ГД (2) и привод Арнесона (8).

Таблица 2

Данные по отказам двигателей MTU 10V2000M93

Наименование, год выпуска	Количество двигателей, шт	В эксплуатации, лет	Средняя наработка ГД, часы	Общее количество отказов, шт.	По характеру отказов		
					производственные	эксплуатационные	конструктивные
судно 2008 года выпуска	2	16	2362	1	0	1	0
судно 2009 года выпуска	2	15	1654		0	0	0
судно 2009 года выпуска	2	15	2701	2	2	0	0
судно 2011 года выпуска	2	13	1041	2	2	0	0
судно 2011 года выпуска	2	13	1751	1	1	0	0
судно 2011 года выпуска	2	12	3194	1	1	0	0
Итого	12	Среднее 14	Средняя 2117	7	6	1	0

Данные по отказам двигателей MTU 10V2000M93 за время эксплуатации представлены в таблице 2.

Анализ рекламационной работы, отчетной и эксплуатационной документации, актов дефектации и материалов технической экспертизы по данным судам показал, что выходы из строя двигателей MTU 10V2000M93 носят производственный отказ, связанный с единичным производством некачественных узлов двигателя (рис. 7).

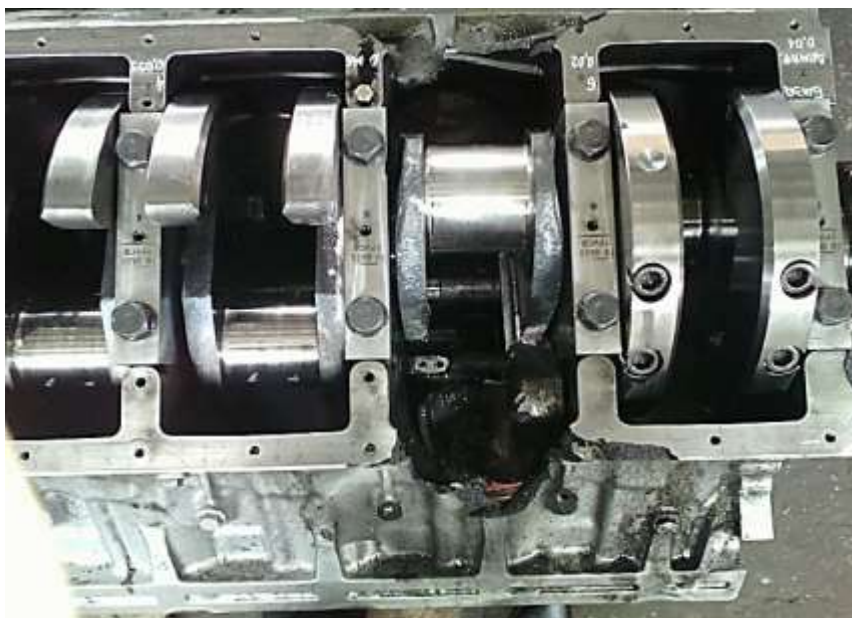


Рис. 7. Разрушение нижней части гильзы цилиндра А5 двигателя MTU 10V2000M93.

Данные по отказам двигателей М-470-01-МЗ за время эксплуатации представлены в таблице 3.

Таблица 3

Данные по отказам двигателей М-470-01-МЗ

Наименование, год выпуска	Количество двигателей, шт	В эксплуатации, лет	Средняя наработка ГД, часы	Общее количество отказов, шт.	По характеру отказов		
					производственные	эксплуатационные	конструктивные
судно 2016 года выпуска	2	8	1290	10	5	0	5
судно 2016 года выпуска	2	8	1250	7	5	0	2
судно 2016 года выпуска	2	8	690	8	3	0	5
судно 2016 года выпуска	2	8	1470	5	3	0	2
Итого	8	Среднее 8	Средняя 1175	30	16	0	14

Анализ отчетной и эксплуатационной документации, актов дефектации и материалов технической экспертизы, а также данные из таблицы 3 подтверждают низкое качество производства двигателей М-470-01-МЗ (рис. 8).

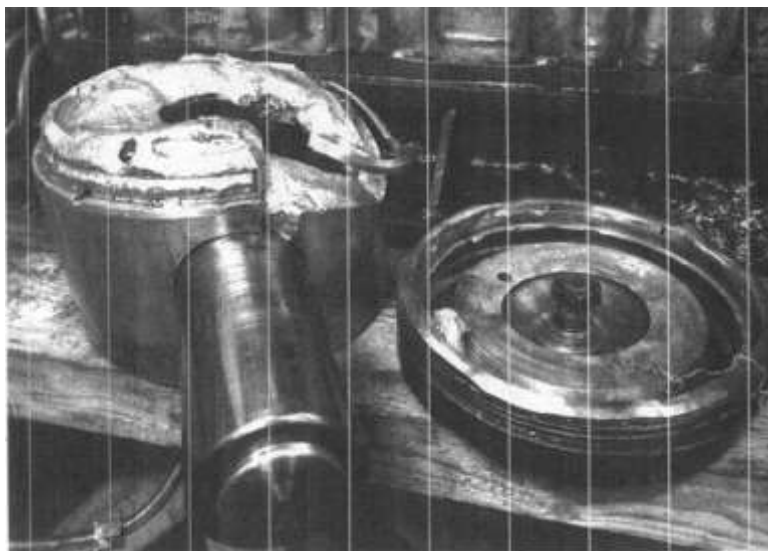


Рис. 8. Разрушения поршня, вызванные микротрещиной на поверхности тронка поршня двигателя М-470

В период эксплуатации скоростных судов на двигателях М-470 выявлено - 30 отказов, в том числе:

- в период гарантийного обслуживания - 21;
- в послегарантийный период - 9.
- По статистическим данным отказы классифицированы:
- производственный отказ - 16;
- конструктивный отказ - 14.

За 10 лет эксплуатации скоростных судов с двигателем М-470 эксплуатационных отказов не выявлено.

В ряде случаев прослеживается закономерность возникновения отказов, косвенно указывающая на наличие систематических отказов двигателей М-470:

- разрушение шестерней и корпуса редуктора электростартера – 9;
- образование микротрещин масляного трубопровода в районе штуцерного соединения реверс-муфты (возникновение вследствие вибрации, с последующим образование свищей и падение давления моторного масла в системе) – 4;
- течь масла из-под всережимного регулятора частоты вращения коленчатого вала, по стыку соединения ТНВД и регулятора – 5;
- беспричинное срабатывание сигнализатора наличия стружки в двигателе (происходит срабатывание индикации «Стружка», в т.ч. при неработающем дизеле) – 5;
- не корректная работа системы управления двигателем «Ливень-12150» (при запуске системы на дисплее в машинном отделении нет индикации, при этом на дисплее в ходовой рубке индикация есть. При отключении и повторном включении системы показания восстанавливаются) – 4;

– течь пресной воды из насоса системы охлаждения двигателя (разрушение крыльчатки насоса по причине низкой надежности) – 3.

Во время приемо-сдаточных испытаний скоростных судов в 2016 году было допущено 6 отказов связанных с дефектом вкладышей коленчатого вала двигателей, которые привели к их выгрузке и капитальному ремонту [4]. В период эксплуатации допущено 8 отказов по причине, связанной с несовершенством конструкций узлов двигателя.

Наиболее характерными неисправностями дизелей М-470 являются неисправности масляной системы и системы автоматики, а также системы охлаждения двигателя, при этом наиболее критическими являются отказы масляной системы, которые приводят к наибольшим разрушениям двигателя (34% от общего количества отказов по всем сданным двигателям).

Выводы

Сравнительный анализ эксплуатации двигателей М470МК-МЗ, MTU 10V2000M93 показал (таблица 2,3), что наилучшие двигатели в качестве ГД для скоростных судов проекта 12150 являются двигатели MTU 10V2000M93, при этом данные двигатели обладают следующими недостатками, которые не позволяют оборудовать ими скоростные суда Российского производства:

1. Санкционный запрет на покупку и обслуживание данных двигателей, дорогое техническое обслуживание по параллельному импорту и уменьшение ресурса эксплуатации двигателя предприятием изготовителем (справочно: заявленный ресурс при поставке двигателя на замену форсунок – 6000 часов, через 2 года эксплуатации производитель вносит изменение в техническую документацию, где изменяет ресурс работы форсунок с 6000 часов до 2000 часов. При этом стоимость замены форсунок на двигатель MTU составляет 80 % стоимости двигателя) [5].

2. Упор и вращающий момент, развиваемые полупогружными винтами скоростных судов проекта 12150, в большой степени зависят от погружения лопастей винта в воду, которые изменяются в зависимости от изменений подъемной силы, возникающей на корпусе скоростного судна при выходе судна на глиссирующий режим. Полупогружные винты эффективны при определенном заглублении, поэтому, когда винт судна на стоянке полностью погружен в воду, требуется большой крутящий момента двигателя, чтобы раскрутить винт до полных оборотов и придать ускорение скоростному судну для выхода в глиссирующий режим [6]. Крутящий момент двигателя MTU 10V2000M93 при номинальной частоте вращения равен 4366 Нм, а двигателя М470 равен 6565 Нм. На рисунке 9 видно, что благодаря большому крутящему моменту судно с двигателем М470 быстрее выходит на глиссирующий режим [7,8].

Двигатель и карданная муфта привода Арнесона (рис. 10) испытывает перегрузку при швартовке судна и выходе его из акватории пункта базирования (на малых скоростях), а также при переходе его в глиссирующий режим. Вследствие отсутствия автоматической системы согласования заглубления полупогружных винтов между двигателями MTU 10V2000M93 и приводами Арнесона при переходе судна из водоизмещающего режима в глиссирующий приводит к разрушению (отказу) привода Арнесона [9].

Из статистических данных аварийности (таблица 1) выявлено 27 отказов приводов Арнесона (рис. 11) у скоростных судов с двигателями MTU, что свидетельствует о систематическом отказе (рис. 12) приводов Арнесона с данными двигателями.



Рис. 9. Винтовая характеристика ГД скоростного судна проекта 12150.

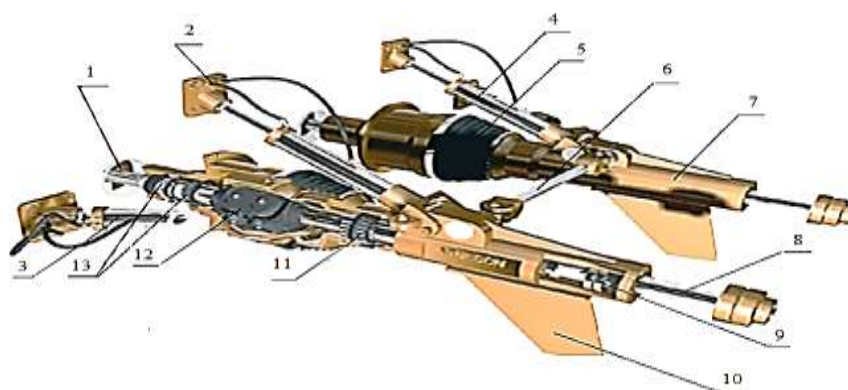


Рис. 10. Конструкция привода Арнесона [10]: 1 – входной вал; 2 – упорный шарнир гидроцилиндра; 3 – гидроцилиндр поворота; 4 – входной вал; 2 – упорный шарнир гидроцилиндра; 3 – гидроцилиндр поворота; 4 – гидроцилиндр наклона; 5 – защитный чехол; 6 – поперечина; 7 – поворотная дейдвудная труба; 8 – гребной вал; 9 – опорный подшипник; 10 – плавник; 11, 13 – опорный подшипник; 12 – карданная муфта.



Рис. 11. Привод Арнесона.



Рис. 12. Фото разрушения карданной муфты привода Арнесона.

Все вышеуказанное говорит о том, что эксплуатация и техническое обслуживание судов проекта 12150 до сегодняшнего дня не отработано. Это связано с введенными санкциями и особенностями ПК судов с полупогружными винтами.

В связи с этим, тема по научно-обоснованному техническому решению по замене ГД на скоростных судах с полупогружными винтами является особенно актуальной в наше время.

Список литературы

1. Патрульный катер проекта 12150 [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://ru.wikipedia/wiki/Патрульный_катер_проекта_12150.html (дата обращения 16.02.2024).
2. Патрульный катер «Мангуст» [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://sparklogic.ru/pic3/2023/11> (дата обращения 16.02.2024).
3. Скоростной патрульный катер «Мангуст», Проект 12150/АО «Судостроительный завод «Вымпел». [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.vympel-gybinsk.ru/mangust-12150.html> (дата обращения 16.02.2024).
4. Bmpd.livejournal.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bmpd.livejournal.com/1905346.html> (дата обращения 16.02.2024).

5. Korabel.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/oboshlis_bez_germanii.html (дата обращения 16.02.2024).
6. Басин А. М., Ляховицкий А.М. Исследование работы частично погруженных гребных винтов. // Труды ЛИВТ. – 1966.– № 14 – 10 с.
7. Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Соколик М.Г., Тимошенко В.Ф. Расчет ходкости надводных водоизмещающих судов: Учебное пособие. – Николаев, НУК, 2004, 192с.
8. Тимошенко В.Ф. Моделирование гидродинамики судов и приводов аппаратов с использованием комплекса FLOWVISION И ПРОГРАММЫ FREE!SHIP PLUS – Николаев, НУК, 2010, с 10.
9. Жильцов, А.С. Влияние положения привода «Арнесона» на эксплуатационные характеристики главного двигателя «MTU» 10V2000 M93// Морской вестник, 2016. – № 1(57). – С. 77.
10. Привод Арнесона [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://yandex.ru/images/search> (дата обращения 16.02.2024).

References

1. Patrol boat of project 12150 [Electronic resource]//Access mode: http://ru.wikipedia/wiki/Патрульный_катер_проекта_12150.html (accessed 02/16/2024).
2. Patrol boat "Mongoose" [Electronic resource]// Access mode: <https://sparklogic.ru/pic3/2023/11> (accessed 02/16/2024).
3. High-speed patrol boat "Mongoose", Project 12150/JSC "Vimpel Shipbuilding Plant". [Electronic resource] // Access mode: <http://www.vympel-rybinsk.ru/mangust-12150.html> (accessed 02/16/2024).
4. Bmpd.livejournal.com [Electronic resource]. – Access mode: <https://bmpd.livejournal.com/1905346.html> (accessed 02/16/2024).
5. Korabel.ru [Electronic resource]. – Access mode: https://www.korabel.ru/news/comments/oboshlis_bez_germanii.html (accessed 02/16/2024).
6. Basin A.M., Lyakhovitsky A.M. Investigation of the operation of partially submerged propellers. // Proceedings of the LIVT. – 1966. – No. 14 – 10 p.
7. Slizhevsky N.B., Korol Y.M., Sokolik M.G., Timoshenko V.F. Calculation of the seaworthiness of surface displacement vessels: A textbook. – Nikolaev, NUK, 2004, 192s.
8. Timoshenko V.F. Modeling of hydrodynamics of ships and drives of vehicles using the FLOWVISION complex AND the FREE PROGRAM!SHIP PLUS – Nikolaev, NUK, 2010, from 10.
9. Zhiltsov, A.S. Influence of the position of the Arneson drive on the performance characteristics of the main engine "MTU" 10V2000 M93// Marine Bulletin, 2016. – № 1(57). – P.77.
10. Arneson drive [Electronic resource] – Access mode: <http://yandex.ru/images/search> (accessed 02/16/2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Сайтгареев Вадим Раульевич, соискатель при кафедре «Эксплуатация судовых механических установок», Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск, Россия, 353924, Краснодарский край, г. Новороссийск, проспект Ленина, 93, e-mail: vadim_saitgareev@mail.ru

Vadim R. Saitgareev, applicant at the Department «Operation of Marine mechanical Installations», Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk, Russia, 353924, Krasnodar Territory, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93, e-mail: vadim_saitgareev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; опубликована онлайн 20.03.2024.
Received 15.01.2024; published online 20.03.2024