
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ

УДК 621.182.3:629.2-843.9

Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛАВНОГО ДИЗЕЛЯ 5ДКРН50/110-2 ТАНКЕРА ТИПА «КАЛИНИНГРАДНЕФТЬ» С ТРЕМЯ ВАРИАНТАМИ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

Приводятся уравнения винтовой и топливных характеристик, полигоны распределений мощности главного дизеля на режимах «переход» и «работа на промысле». Даются рекомендации по оптимизации мощности и расходу топлива главным дизелем в эксплуатации с гидравлически облегченным винтом.

Ключевые слова: *главный дизель, полигоны распределения мощности на режимах «переход» и «работа на промысле», топливные характеристики.*

L.K. Kapran, V.V. Manyisyn, Z.P. Starovoytova

STUDY OF OPERATING MODE MAIN DIESEL 5DKRN50 / 110-2 TANKERS "KALININGRADNEFT " WITH THREE OPTIONS PROPELLER

The equations screw and fuel characteristics , the main power distribution ranges on diesel mode "transition" and "work in the fishery ." Are the recommendations of the optimization of power and fuel consumption, the main engine operation for hydraulic lightweight rotor.

Key words: *Main diesel engine, screw, fuel characteristics, specific fuel consumption.*

Введение

Исследования режимов эксплуатации главных дизелей (ГД) морских судов различного назначения проводились рядом авторов [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], однако вопросы нагрузок ГД танкеров типа «Калининграднефть» до конца не были ими изучены.

Проблема повышения эффективности технической эксплуатации главного дизеля на судах морского и промыслового флотов до настоящего времени является предметом исследований научно-исследовательских и проектных организаций и относится к весьма актуальным. Решение этой проблемы предусматривает исследования режимов эксплуатации главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» с тремя вариантами обрезки гребных винтов, направленные на сокращение затрат на горюче-смазочные материалы.

Цель исследования технической эксплуатации ГЭУ с главным дизелем 5ДКРН 50/110-2 – оптимизировать расход топлива для повышения эффективности его эксплуатации.

Общие сведения

Танкер «Калининграднефть» является головным судном, построенным в Финляндии, который предназначен для перевозки топлива и смазочного масла в районы промысла и снабжения им добывающих и обрабатывающих судов. Основные характеристики танкера типа «Калининграднефть» [1] приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики танкера «Калининграднефть»

Table 1

Main characteristics of the " Kaliningradneft " tanker

Длина наибольшая, м	115,5
Между перпендикулярами, м	105
Ширина по миделю, м	17
Высота борта на миделе, м	8,5
Средняя осадка в грузу, м	6,4
Водоизмещение полное, т	8913
Дедвейт судна, т	5873
Скорость судна, уз	14
Район плавания:	Неограниченный
Экипаж, чел.	32

На танкере типа «Калининграднефть» в качестве главного дизеля (ГД) установлен малооборотный дизель типа 5ДКРН 50/110-2, двухтактный, крейцкопфный, реверсивный с прямоточно-клапанной продувкой с прямой передачей крутящего момента на ВФШ. Основные характеристики ГД [1] приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные характеристики главного дизеля

Table 2

Main characteristics of the main diesel

Марка дизеля:	5ДКРН 50/110-2
Номинальная мощность, кВт	2574
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	170
Давление сгорания, МПа	6,4
Среднее эффективное давление, МПа	0,9
Температура выпускных газов в коллекторе, °С	380-480
Удельный расход топлива, кг/(кВт·ч)	0,210+5%
Марка топлива	Флотский мазут Ф-5

На Дальневосточный бассейн поступило 11 танкеров типа «Калининграднефть», каждый танкер совершает 9–11 рейсов в год. Рейс состоит из 4 режимов эксплуатации танкера: стоянка в порту; переход в район промысла и из района промысла в порт; работа на промысле; стоянка в море. Основными традиционными районами работы танкеров являются: Берингоморская, Охотоморская и Южно-Курильская экспедиции.

На танкере типа «Калининграднефть» был установлен 3-лопастной гребной винт фиксированного шага с номинальным диаметром $D = 3,7$ м и шагом $S = 2,94$ м, который оказался «тяжёлым» в эксплуатации, ГД не развивал номинальную мощность 2574 кВт.

В связи с этим в 1983 г. ДВ ЦКБ ММФ была разработана документация по подрезке лопастей гребного винта в нескольких вариантах. Рассмотрим работу танкеров с тремя вариантами гребного винта с разными характеристиками.

На танкерах «Усть-Кут», «Усть-Карск», «Гальве», «Усть-Илимск», «Усть-Лабинск» выполнена подрезка лопастей гребных винтов по первому варианту (D= 3,58 м, S=2,94 м.).

На танкерах «Оханефть», «Мыс-Кодош», «Усть-Кан» и «Делегат» – по третьему варианту (D=3,54 м, S=2,94 м).

На танкерах последней постройки «Лукоморье», «Усть-Ижма» финская фирма «Раума-Репола» установила гребные винты гидравлически облегченные за счёт уменьшения шага винта на 0,11 м (D=3,7 м, S=2,83 м). (Шаг винта – это расстояние, на которое переместится винт за один оборот). В данной статье приведены исследования режимов эксплуатации ГД танкеров с тремя вариантами обрезки гребных винтов.

Для исследования режимов эксплуатации ГД применялся статистический метод. Этот метод имеет преимущества по сравнению с методом теплотехнических испытаний, так как в эксплуатации мощность ГД носит случайный характер, а для получения достоверных данных требуется располагать большим количеством исходной информации. Кратковременность проведения теплотехнических испытаний не позволяет получить фактическую мощность ГД с разными характеристиками винта и в различных условиях эксплуатации танкера.

Определение текущей мощности ГД

На ГД 5КРН50/110-2 отсутствуют приборы контроля и регистрации эффективной мощности. Поэтому в качестве косвенного параметра определения текущей мощности ГД принята частота вращения коленчатого вала, которая регистрируется в вахтенном машинном журнале. Для перехода от частоты вращения коленчатого вала ГД к его мощности используется их зависимость [5]. Такая зависимость называется винтовой характеристикой дизеля. Винтовая характеристика дизеля в аналитической форме с достаточной точностью рассчитывается в виде кубической параболы:

$$\overline{N_e} = c \cdot n^3, \quad \overline{N_e} = \frac{N_e}{N_{ном.}}$$

где $\overline{N_e}$ – относительная мощность дизеля (отношение текущей мощности к номинальной); n – частота вращения коленчатого вала дизеля; c – коэффициент пропорциональности, который определяется по результатам стендовых испытаний ГД на тяжёлом топливе (флотский мазут Ф-5), приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 3

Results of bench tests of the ME 5 ДКРН 50/110–2

Эффективная мощность, кВт	257,4	514,8	772,2	1030	1287	1544,4	1802	2059	2317	2574
Относительная мощность $\overline{N_e}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Частота вращения коленчатого вала n, мин ⁻¹	80	100	115	126	135	143	150	158	165	170

Используя данные стендовых испытаний (табл. 3) и метод наименьших квадратов [9], получен коэффициент $c = 2,032 \cdot 10^{-7}$.

Уравнение винтовой характеристики будет иметь вид:

$$\overline{N_e} = 2,032 \cdot 10^{-7} n^3.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,34 %.

График зависимости относительной мощности $\overline{N_e}$ ГД от частоты вращения коленчатого вала n представлен на рис. 1.

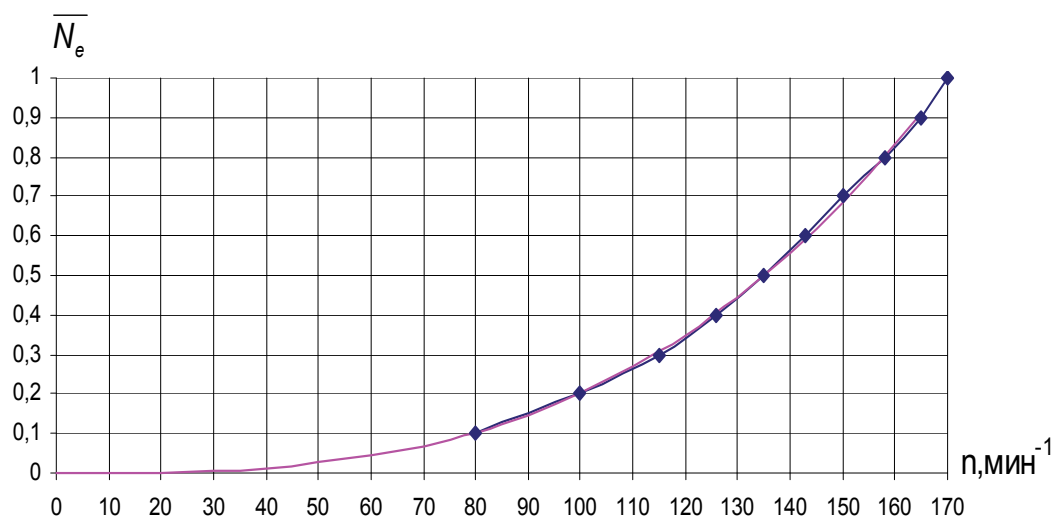


Рис. 1. Винтовая характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig. 1. Propeller characteristics of main engine 5DKRN 50/110-2

По графику на оси абсцисс откладываем текущее значение частоты вращения коленчатого вала, а на кривой находим соответствующую точку, ордината которой равна значению относительной текущей мощности ГД.

Исследование распределения мощности ГД на основных режимах его эксплуатации

Характерными режимами эксплуатации ГД являются «переход в район промысла», «работа на промысле», «переход в порт». Режим эксплуатации ГД «переход» объединяет переход на промысел и переход в порт, так как мощность на этих режимах незначительно отличается друг от друга. Расчёт параметров распределения мощности ГД для указанных режимов эксплуатации получен для танкеров, имеющих подрезку гребного винта по первому варианту ($D=3,58$ м, $S=2,94$ м), по третьему варианту ($D=3,54$ м, $S=2,94$ м) и с гидравлически облегченным винтом ($D=3,7$ м, $S=2,83$ м) [7, 8].

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 на режиме «переход» для танкера с тремя вариантами обрезки гребных винтов [3,4] приведены в табл. 4.

По данным табл. 4 построены полигоны распределения [10] мощности ГД на режиме «переход» для первого варианта обрезки винта (рис. 2); для третьего варианта обрезки винта (рис. 3), с гидравлически облегченным винтом (рис. 4) и на рис. 5 – полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле».

Таблица 4

Параметры распределения мощности ГД с тремя вариантами обрезки гребных винтов
Table 4
Parametry power distribution DG tankers with three options propellers

Данные по распределению мощности ГД танкера типа «Калиниграднефть» на режиме «переход»								Режим «работа на про- мысле»	
Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	1-й вариант обрезки винта		3-й вариант обрезки винта		Гидравлически облегченный винт		Для всех вари- антов гребного винта	
		t, ч	\bar{t}	t, ч	\bar{t}	t, ч	\bar{t}	t, ч	\bar{t}
0,00–0,10	0,05	58	0,0133	10	0,0090	6	0,0008	1339	0,387
0,10–0,20	0,15	35	0,008	54	0,0484	42	0,0058	667	0,193
0,20–0,30	0,25	28	0,0064	0	0,0000	0	0,0000	91	0,026
0,30–0,40	0,35	54	0,0124	36	0,0323	60	0,0083	144	0,042
0,40–0,50	0,45	172	0,0394	9	0,0081	96	0,0133	236	0,068
0,50–0,60	0,55	140	0,0321	25	0,0224	2080	0,2878	398	0,115
0,60–0,70	0,65	1123	0,2574	62	0,0556	3570	0,4939	417	0,121
0,70–0,80	0,75	2295	0,5260	197	0,1767	1374	0,1901	168	0,049
0,80–0,90	0,85	458	0,105	434	0,3892	0	0	-	
0,90–1,00	0,95	-	-	288	0,2583	0	0	-	
Итого		4363	1,000	1115	1,000	7228	1,000	3460	1,000
		$\bar{N}_c = 0,69$		$\bar{N}_c = 0,78$		$\bar{N}_c = 0,63$		$\bar{N}_c = 0,28$	
		$\sigma = 0,14$		$\sigma = 0,21$		$\sigma = 0,086$		$\sigma = 0,25$	

Где t – продолжительность работы ГД, ч; \bar{t} – относительная продолжительность работы ГД;
 \bar{N}_c – средняя относительная мощность; σ – среднее квадратическое отклонение.

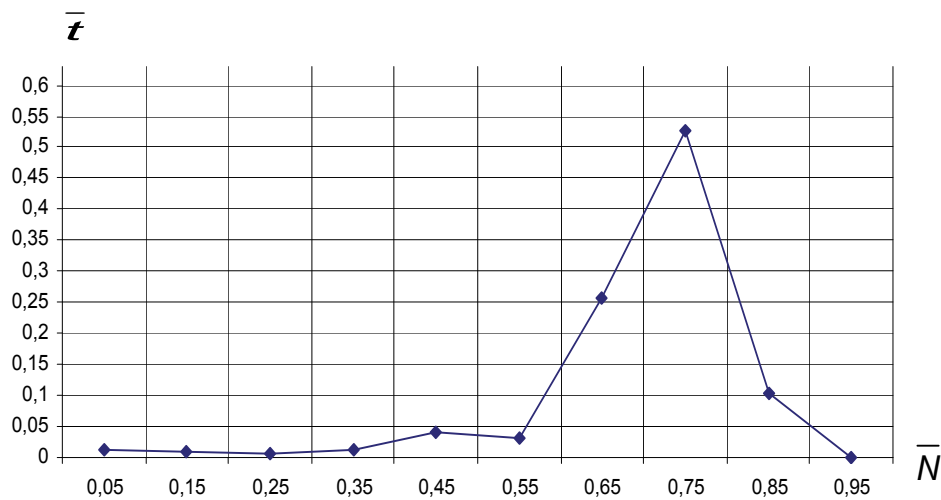


Рис. 2. Полигон распределения мощности ГД на режиме «переход»
для первого варианта обрезки винта (D=3,58 м, S=2,94 м)

Fig. 2. Power distribution range of the main engine on regime “at sea” for trimming the first embodiment of the screw (D = 3,58 m , S = 2,94 m)

На режиме «переход» для танкеров «Усть-Кут», «Усть-Карск», «Гальве», Усть-Илимск», «Усть-Лабинск» с первым вариантом обрезки лопастей гребных винтов [2] (рис. 2) ГД 78 % времени работает в интервале нагрузок (0,55 до 0,85) от номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,69$ и среднеквадратическом отклонении $\bar{\sigma} = 0,14$. Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 1415,7$ до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 2136,42$ кВт.

На режиме «переход» для танкеров «Оханефть», «Мыс-Кодаш», «Усть-Кан» и «Делегат», имеющих подрезку лопастей гребных винтов по третьему варианту [3] (рис. 3), нагрузка ГД возрастает. ГД 83 % времени работает в интервале нагрузок (от 0,70 до 0,90) от номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,78$ и среднем квадратическом отклонении $\sigma = 0,21$. Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 1467,2$ кВт до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 2548,3$ кВт.

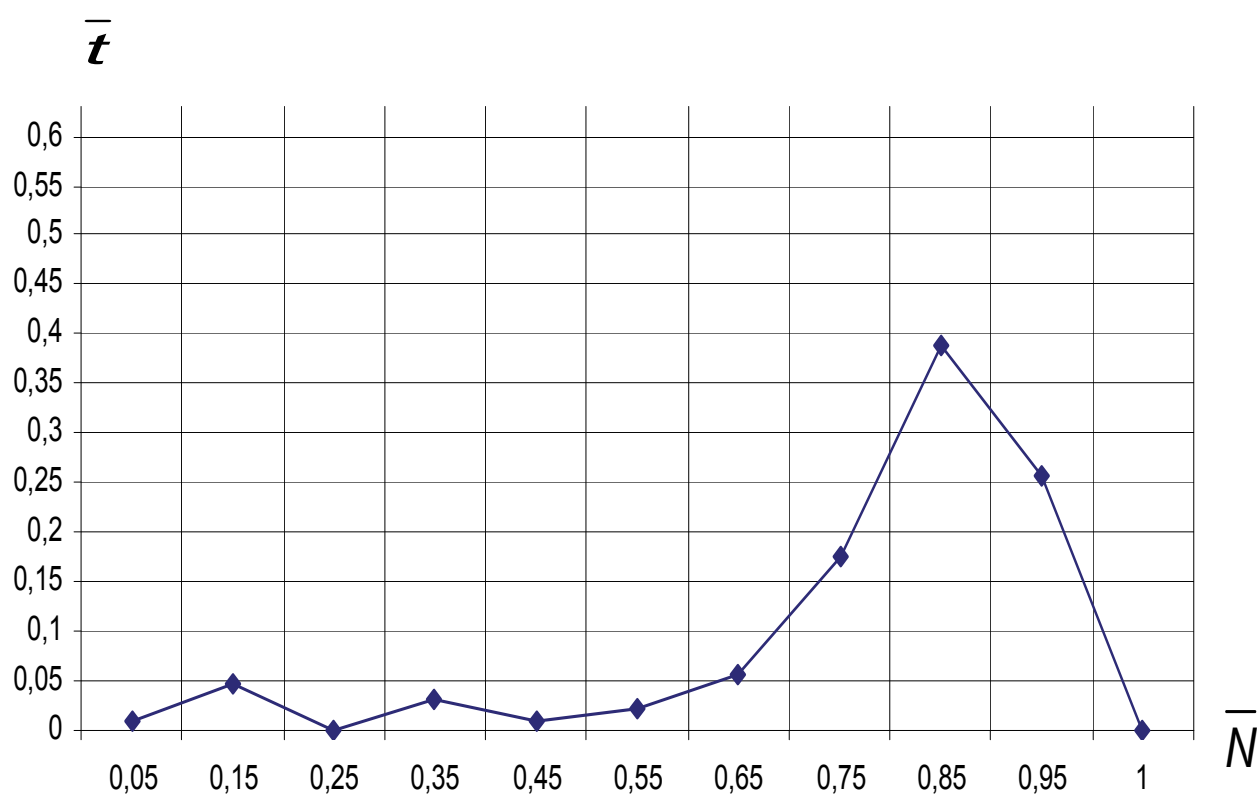


Рис. 3. Полигон распределения мощности ГД на режиме «переход» для третьего варианта обрезки винта (D=3,54 м, S=2,94 м)

Fig. 3. Power distribution range of the main engine on regime “at sea” trimming the third embodiment of the screw (D = 3,54 m , S = 2,94 m)

На режиме «переход» для танкеров «Лукоморье», «Усть-Ижма» с гидравлически облегченным винтом [4] (рис. 4) ГД 99 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся от 0,45 до 0,85 номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,63$ и среднем квадратическом отклонении $\sigma = 0,086$.

Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 1400,3$ кВт до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 1842,98$ кВт.

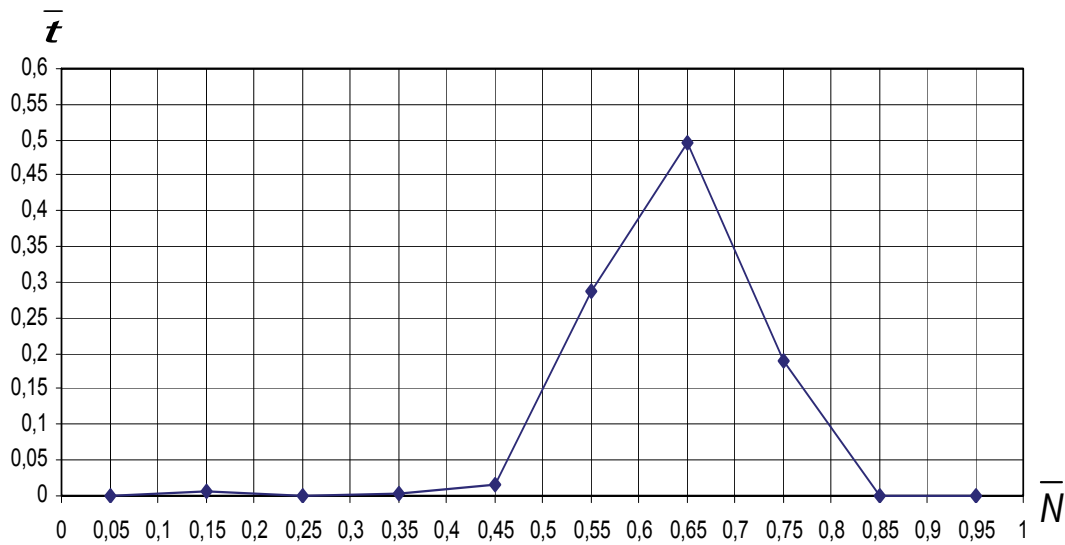


Рис. 4. Полигон распределения мощности ГД танкера с гидравлически облегченным гребным винтом (D=3,7 м, S=2,83 м) на режиме «переход»
Fig. 4. Polygon distribution DG tanker capacity with hydraulically lightweight propeller (D = 3.7m, S = 2,83 m) in the "transition" mode

Анализ полигонов распределения мощности ГД на режиме «переход» показал, что характер распределения мощности одномодальный, а параметры гребных винтов первого варианта обрезки лопастей и гидравлически облегченных не позволяют использовать полностью эксплуатационную мощность ГД, т.е. гребной винт первой обрезки и гидравлически облегченный не соответствуют корпусу танкера.

По данным табл. 4 построен полигон распределения мощности ГД 5ДКРН50/110-2 на режиме эксплуатации танкера «работа на промысле» для трёх вариантов гребных винтов (рис. 5).

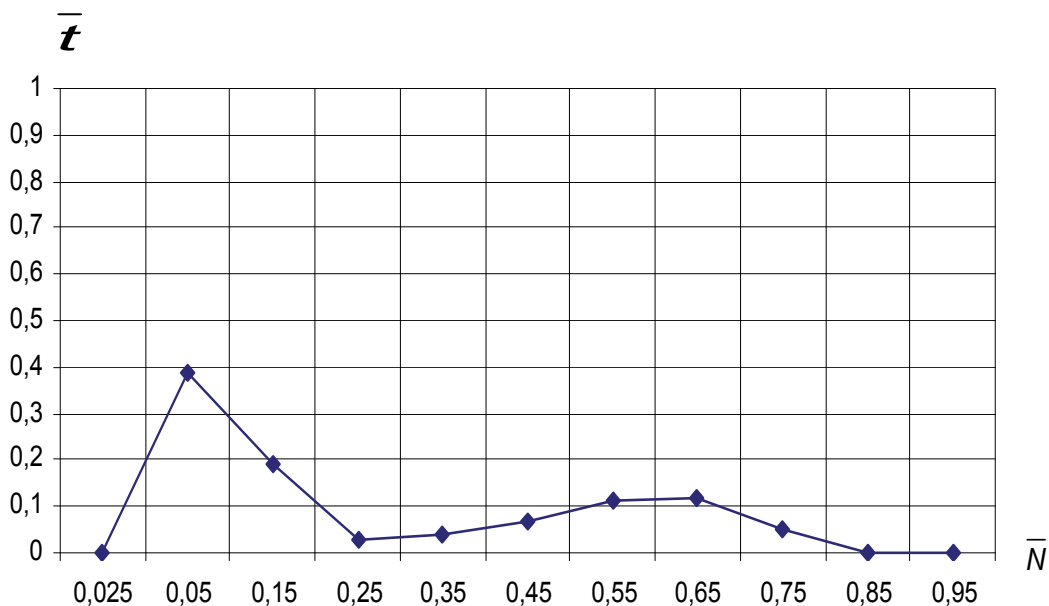


Рис. 5. Полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле»
Fig. 5. The range of distribution of capacity of GD on a mode «work on trade»

Режим эксплуатации «работа на промысле» для танкеров с тремя вариантами гребных винтов характеризуется малой мощностью ГД и имеет двухмодальное распределение.

ГД 58 % времени работает в интервале от 0,05 до 0,20 от номинальной мощности и 24 % времени в интервале (0,45 ; 0,75) номинальной мощности при среднем значении относительной мощности $N_c = 0,28$ и среднем квадратическом отклонении $\sigma = 0,25$.

Интервал отклонения мощности на режиме «работа на промысле» от среднего значения мощности составляет от $(N_c - \sigma) \cdot N_{ном} = 77,22$ кВт до $(N_c + \sigma) \cdot N_{ном} = 1364,22$ кВт.

Такое отклонение мощности объясняется спецификой работы танкера с добывающими судами, он не только производит выгрузку топлива на ходу в штормовую погоду, но и совершает переходы в районе промысла на малом ходу.

Расчёт расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2

В эксплуатации текущая эффективная мощность ГД носит случайный характер. Она изменяется во времени в зависимости от режима эксплуатации, от условий внешних факторов и от состояния пропульсивного комплекса. Поэтому в основу расчёта расхода топлива положен вероятностно-статистический метод обработки фактической мощности ГД. Этот метод наиболее полно учитывает многообразие внешних факторов, влияющих на элементы судового комплекса.

Для расчёта расхода топлива необходима топливная характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2. Топливная характеристика дизеля – это зависимость часового расхода топлива от его мощности, определяется по результатам стендовых испытаний [5].

Для расчета коэффициентов топливной характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2 использовались результаты стендовых испытаний, которые приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 5

Results of bench tests of the ME 5ДКРН 50/110–2

Эффективная мощность N_e , кВт	Относительная мощность N	Часовой расход топлива G_T кг/ч	Относительный часовой расход топлива G	Удельный расход топлива g_e кг/ (кВт·ч)
334,62	0,13	119,6	0,207	0,357
1055,34	0,41	272,7	0,472	0,259
1673,1	0,65	387,3	0,670	0,232
2213,64	0,86	478,4	0,828	0,216
2496,78	0,97	551,4	0,955	0,221
2574	1,00	577,5	1,00	0,224

Где $N_n = 2574$ кВт – номинальная мощность ГД; $G_n = 577,5$ кг/ч – номинальный часовой расход топлива ГД; $\bar{G} = \frac{G_T}{G_n}$ – относительный часовой расход топлива; $\bar{N} = \frac{N_e}{N_n}$ – относительная мощность ГД; $g_e = \frac{G}{N_e}$ – удельный расход топлива ГД.

Зависимость относительного часового расхода топлива от относительной мощности можно представить графически (рис. 6) или в аналитической форме в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов [9], используя данные табл. 5, $\bar{G} = 0,02\bar{N}^2 + 0,86\bar{N} + 0,1$.

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,97 %, что говорит о хорошем приближении эмпирических данных к теоретическим. На рис. 6 изображены эмпирическая и теоретическая линии топливной характеристики, и они практически совпали.

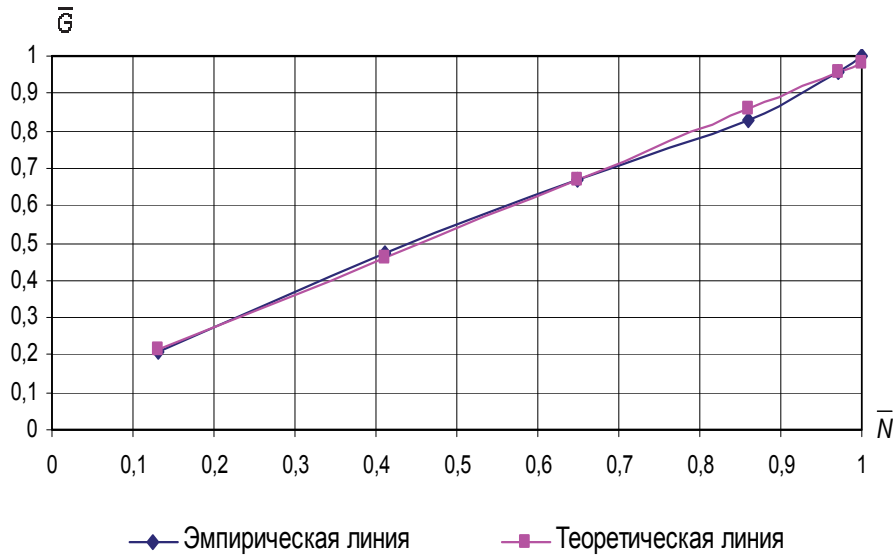


Рис. 6. Топливная характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig. 6. Main engine fuel oil characteristics ME 5DKPH 50/110-2

На основании топливной характеристики ГД и параметров распределения мощности на основных режимах эксплуатации танкера типа «Калининграднефть» определен расход топлива для трёх вариантов обрезки лопастей винта.

Результаты расчета параметров мощности и расхода топлива для ГД 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» на режимах «переход» и «работа на промысле» приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Параметры мощности и расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2 танкеров
с тремя вариантами гребных винтов**

Table 6

**Power rating and fuel oil consumption of the ME 5 ДКРН 50/110–2 tankers with three
options propellers**

Наименование	1-й вариант об- резки Д=3,58 м; S=2,94 м	3-й вариант об- резки Д=3,54 м; S=2,94 м	Гидравлически об- легченный вариант Д=3,7 м; S=2,83 м	Все три варианта обрезки лопостей гребного винта
	Режим «переход»			Режим «работа на промысле»
1	2	3	4	5
Число наблюдений, ч	4363	1115	7228	3460
Средняя относительная мощность	0,69	0,78	0,63	0,28

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5
Среднеквадратическое отклонение	0,135	0,206	0,087	0,25
Средний часовой расход топлива, кг/ч	409,34	453,85	376,93	178,57
Средний суточный расход топлива, кг/сут	9824	10892	9046	429

Экономия топлива в сравнении с плановым расходом достигается за счет фактической мощности ГД.

Определение предпочтительной мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 по минимальному удельному расходу топлива

Одним из путей повышения эффективности технической эксплуатации ГД танкера является оптимизация эксплуатационной мощности и расхода топлива, что приведёт к снижению затрат на топливо, а следовательно, и к сокращению часового расхода топлива, зависящего от его удельного расхода и мощности, развиваемой ГД [5].

Зависимость удельного расхода топлива от относительной мощности ГД найдена по данным стендовых испытаний (табл. 5), построив график эмпирической кривой (рис. 7), теоретическую зависимость находим в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов.

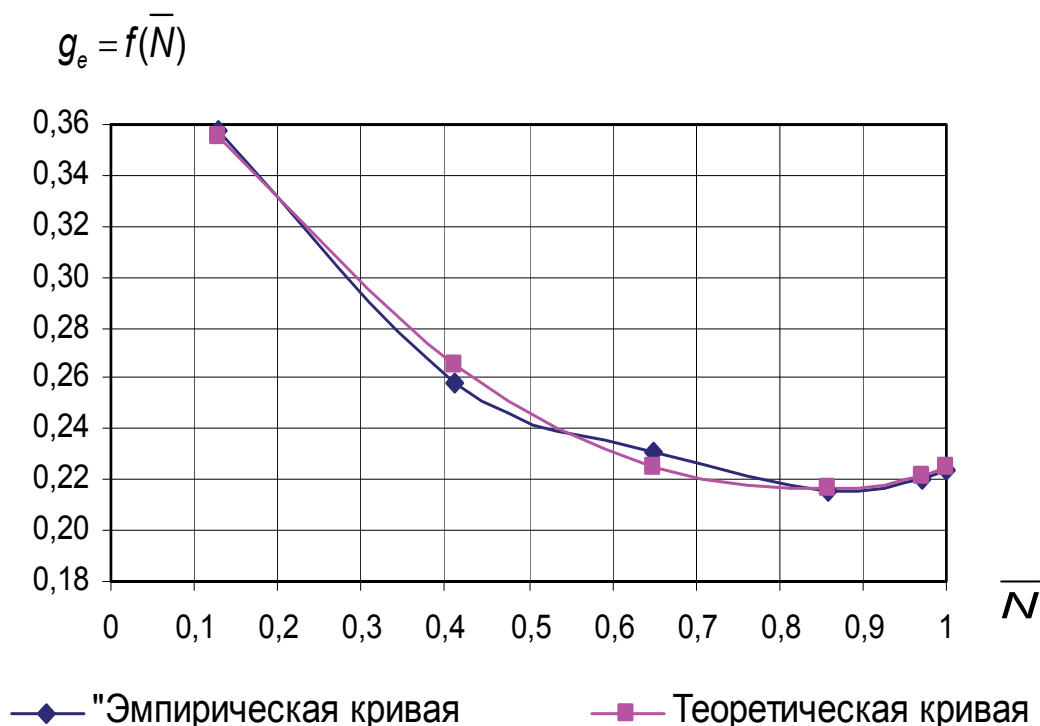


Рис. 7. Графики зависимости удельного расхода топлива от относительной мощности
 Fig. 7. Curve of relative power dependence on specific fuel oil consumption for main engine

$$g_e(\bar{N}) = 0,29\bar{N}^2 - 0,48\bar{N} + 0,4.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,19 %, что говорит о хорошем приближении.

Условием минимума функции $g_e(\bar{N})$ является равенство нулю ее производной. Решением уравнения $g'_e(\bar{N}) = 0,58\bar{N} - 0,48 = 0$ является $\bar{N} = 0,83$, а удельный расход топлива при этом 0,216 кг/(кВт·ч) – это минимальное значение функции.

Если принять значение функции, описывающей удельный расход топлива, равное 0,22 кг/(кВт·ч), т.е. $g_e(\bar{N}) = 0,22$, то область изменения предпочтительной относительной мощности \bar{N} ГД будет находиться в пределах от 0,7 до 0,9 номинальной мощности. Эффективная мощность при этих значениях будет изменяться от 1478 кВт до 2574 кВт при соответствующих параметрах гребного винта, а минимальные значения удельного расхода топлива будут составлять от 0,2014 до 0,22 кг/(кВт·ч). Эффективная мощность при этом изменяется от 1802 кВт до 2316,6 кВт.

Следовательно, для ГД 5ДКРН 50/110-2 предпочтительная относительная мощность в указанной области характеризуется минимальными значениями удельного расхода топлива от 0,216 до 0,22 кг/(кВт·ч).

Список литературы

1. Наливные суда флота рыбной промышленности. – Клайпеда: Клайпедское отделение Гипрорыб флота, 1987. – 281с.
2. Капран, Л.К. Оптимизация мощности и расхода топлива главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Оханефть» с уменьшением номинального диаметра винта 3,7 м до 5,58 м / Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – Вып. 28. – С. 16.
3. Капран, Л.К. Повышение эффективности эксплуатации главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Оханефть» с уменьшением номинального диаметра винта 3,7 м до 5,54 м / Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – Вып. 30. – С. 16.
4. Капран, Л.К. Оптимизация мощности и расхода топлива главного дизеля 5ДКРН 50/110-2 танкера типа «Калининграднефть» с гидравлически облегченным гребным винтом / Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. Старовойтова // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2016. – С. 8.
5. Маницын, В.В. Энергетические установки приемно-транспортных рефрижераторов / В.В. Маницын. – М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1984. – 120 с.
6. Соболенко, А.Н. Определение технически обоснованных норм расхода горючесмазочных материалов СДУ / А.Н. Соболенко, В.В. Маницын // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф. – Владивосток, 2015. – С. 2.
7. Соболенко, А.Н. Обобщение зависимости параметров законов распределения нагрузок главных двигателей рыболовных траулеров / А.Н. Соболенко // Судостроение. – 2001. – № 6. – С. 7.

8. Соболенко, А.Н. Обобщение зависимости параметров законов распределения нагрузок главных двигателей транспортных судов флота рыбной промышленности / А.Н. Соболенко // Науч. тр. Дальрыбвтуза. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2013. – Вып. 30. – С. 5.

9. Письменный, Д.Т. Конспект лекций по высшей математике. Полный курс / Д.Т. Письменный. – М.: Айрис пресс, 2006.

10. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 543 с.

Сведения об авторах: Маницын Владимир Викторович, профессор;

Капран Людмила Кузьминична, доцент;

Старовойтова Зоя Павловна, доцент.