

УДК 621.182.3 : 629.2 – 843.9

Л.К. Капран, В.В. Маницын, З.П. СтаровойтоваДальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б**ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ И РАСХОД ТОПЛИВА ГЛАВНЫМ ДИЗЕЛЕМ
5ДКРН50/110-2 ТАНКЕРА ТИПА «ОХАНЕФТЬ» С УМЕНЬШЕНИЕМ
НОМИНАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ВИНТА 3,7м ДО 3,58м**

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 для первого варианта обрезки винта.

Ключевые слова: главный дизель, винтовая, топливная характеристики, удельный расход топлива.

L.K. Kapran, V.V. Manyisyn, Z.P. Starovoytova**OPTIMIZATION OF POWER AND FUEL CONSUMPTION BY THE MAIN
DIESEL 5DKRN50/110-2 OF THE "OHANEFT" TANKER WITH REDUCTION
OF NOMINAL DIAMETER OF THE DO SCREW 3,7 м TO 3,58 м**

The equations screw and fuel characteristics, ranges of distributions of capacity of the main diesel engine on the transition modes and «work on trade» are given. Recommendations about optimization of capacity and to fuel consumption by the main diesel engine in operation for the first option screw scraps are made.

Keywords: main diesel engine, screw, fuel characteristics, specific fuel consumption.

Введение

Проблема оптимизации мощности и расхода топлива дизелями на судах морского и промыслового флотов до настоящего времени является предметом разработок научно-исследовательских и проектных организаций и относится к весьма актуальным. Решение этой проблемы предусматривает исследования, направленные на сокращение затрат на горюче-смазочные материалы.

Цель оптимизации мощности и расхода топлива главным дизелем 5ДКРН 50/110-2 – повышение эффективности его эксплуатации.

Общие сведения

Танкер «Оханефть» является головным судном, построенным в 1978 г. в Финляндии. Танкер типа «Оханефть» предназначен для перевозки топлива и смазочного масла в районы промысла и снабжения им добывающего и обрабатывающего флота.

Основные характеристики судна

наибольшая длина, м	115,5;
ширина, м	17;
дедвейт, т	5873;
водоизмещение полное, т	8913;
скорость судна, м/с (уз)	7,56 (14);
экипаж, чел.	32.

На танкере типа «Оханефть» в качестве главного дизеля (ГД) установлен малооборотный дизель типа 5ДКРН 50/110-2, двухтактный, крейцкопфный, реверсивный с наддувом при постоянном давлении газов перед турбиной.

Судовой пропульсивный комплекс включает корпус судна, гребной винт фиксированного шага, валопровод и ГД фирмы «Бурмейстер и Вайн». Номинальная мощность ГД 2574 кВт, номинальная частота вращения 170 мин^{-1} , удельный расход топлива $224,4 \text{ г/(кВт·ч)}$. Топливная система ГД предусмотрена для работы его на тяжелом топливе.

На танкере типа «Оханефть» был установлен винт фиксированного шага с номинальным диаметром $D = 3,7 \text{ м}$ и шагом $S = 2,94 \text{ м}$, который оказался «тяжелым» в эксплуатации. В связи с этим в 1983 г. ДВ ЦКБ ММФ была разработана документация по подрезке лопастей гребного винта в нескольких вариантах.

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

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

На танкерах последней постройки «Лукоморье», «Усть-Ижма» финская фирма «Раума-Репола» установила гребные винты гидравлически облегченные за счет уменьшения шага винта ($D = 3,7 \text{ м}$, $S = 2,83 \text{ м}$).

В этой статье приведены результаты исследования по оптимизации мощности и расходу топлива ГД 5ДКРН 50/110-2 с подрезкой гребного винта по первому варианту ($D = 3,58 \text{ м}$, $S = 2,94 \text{ м}$) [1].

Определение текущей мощности ГД в эксплуатации

В связи с тем, что ГД 5ДКРН 50/110-2 с прямой передачей крутящего момента на винт фиксированного шага не обеспечен приборами автоматической регистрации мощности, оценка ее производится по косвенным показателям, которые фиксируются по истечении каждого часа в вахтенном машинном журнале. В качестве косвенного показателя принята частота вращения коленчатого вала дизеля. Для перехода от частоты вращения коленчатого вала ГД к его мощности используется их зависимость. Такая зависимость называется винтовой характеристикой дизеля.

Винтовая характеристика дизеля в аналитической форме с достаточной точностью рассчитывается в виде кубической параболы $\overline{N_e} = c \cdot n^3$, где $\overline{N_e} = \frac{N_e}{N_{ном}}$, n – частота вращения коленчатого вала; c – коэффициент пропорциональности, который определяется по

результатам стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2 на тяжелом топливе (флотский мазут Ф-5), приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 1

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.1) и метод наименьших квадратов, получен коэффициент $c = 2,03 \cdot 10^{-7}$. Тогда

$$\overline{N_e} = 2,03 \cdot 10^{-7} n^3.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,48 % и показывает хорошее соответствие эмпирических и теоретических данных.

Графики эмпирической (см. табл. 1) и теоретической $\overline{N_e} = 2,03 \cdot 10^{-7} n^3$ зависимостей относительной мощности $\overline{N_e}$ ГД от частоты вращения коленчатого вала n представлены на рис. 1.

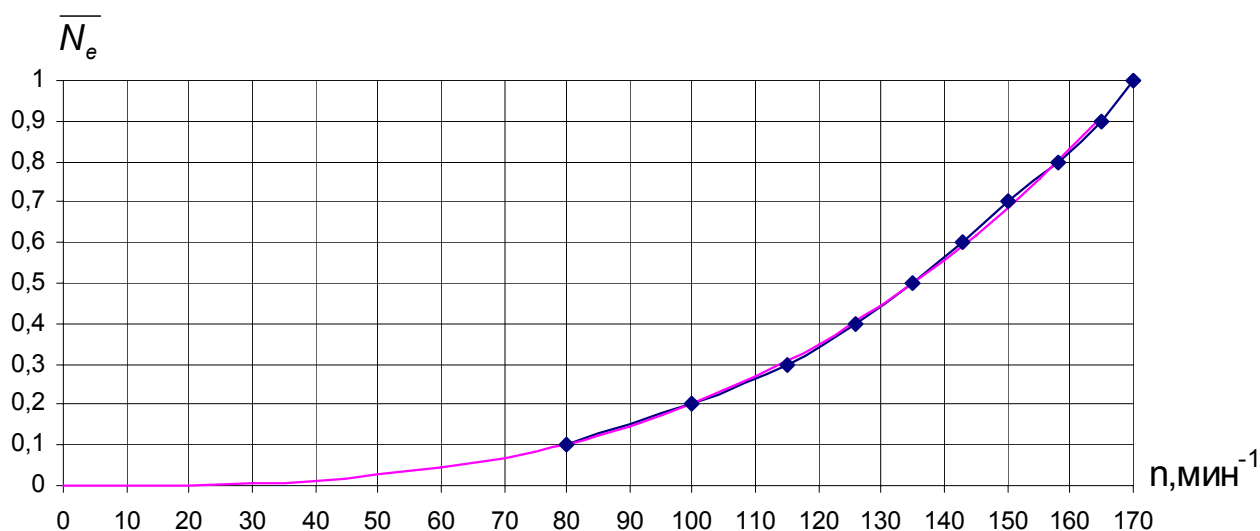


Рис. 1. Винтовая характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2
 Fig. 1. Propeller characteristics of main engine 5DKRN 50/110-2

Режимы эксплуатации танкера и расчет параметров распределения мощности ГД на этих режимах

Для оптимизации мощности и расхода топлива необходимо знать распределение мощности ГД на всем диапазоне ее изменения от 0 до 1,0 номинальной мощности.

Характерными режимами эксплуатации танкера являются «Переход в район промысла», «Работа на промысле», «Переход в порт». Параметры распределения мощности ГД для указанных режимов эксплуатации получены для танкеров, имеющих подрезку гребного винта по первому варианту ($D = 3,58$ м, $S = 2,94$ м). При этом статистические данные по мощности ГД для режимов «Переход на промысел» и «Переход в порт» объединены в одну группу.

Данные по распределению мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 на режиме «Переход» приведены в табл. 2.

По данным табл. 2 построен полигон распределения мощности ГД на режиме «Переход» (рис. 2).

На режиме «Переход» ГД 78 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся от 0,55 до 0,85 при среднем значении относительной мощности $\overline{N_e} = 0,69$ и среднеквадратическим отклонением $\overline{\sigma} = 0,14$. Характер распределения мощности ГД,

как видно из полигона распределения, одномодальный. Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «Переход» составляет от 1415,7 до 2136,42 кВт. $((\bar{N}_c - \sigma) \cdot N_{ном}; (\bar{N}_c + \sigma) \cdot N_{ном})$.

Таблица 2
Статистические данные по распределению мощности ГД на режиме «Переход»
Table 2
Statistic data of distribution in power of the ME on a mode “Passage”

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД t , ч	Относительная продолжительность работы ГД \bar{t}
0-0,10	0,05	58	0,0133
0,10-0,20	0,15	35	0,008
0,20-0,30	0,25	28	0,0064
0,30-0,40	0,35	54	0,0124
0,40-0,50	0,45	172	0,0394
0,50-0,60	0,55	140	0,0321
0,60-0,70	0,65	1123	0,2574
0,70-0,80	0,75	2295	0,5260
0,80-0,90	0,85	458	0,105
0,90-1,00	0,95	-	-
Итого:		4363	1,000

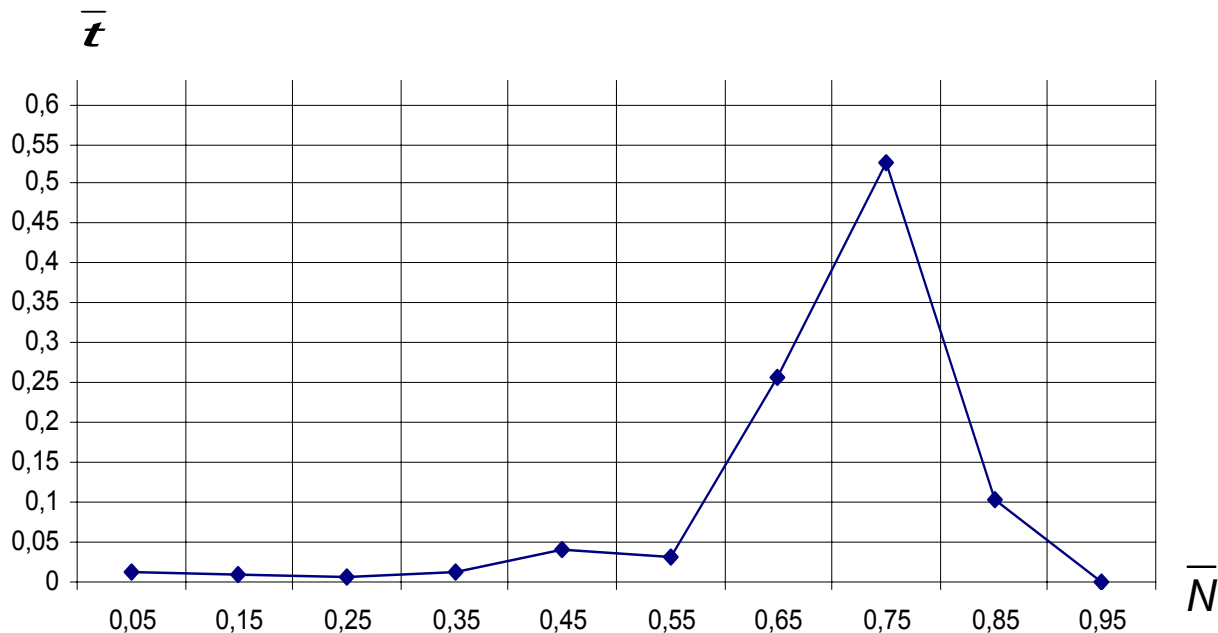


Рис. 2. Полигон распределения мощности ГД на режиме «Переход»
Fig. 2. Power distribution range of the main engine on a mode “Passage”

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН50/110-2 танкера типа «Оханефть» на режиме «Работа на промысле» приведены в табл. 3.

По данным табл. 3 построен полигон распределения мощности ГД на режиме «Работа на промысле» (рис. 3).

Таблица 3

Статистические данные по распределению мощности ГД на режиме «Работа на промысле»

Table 3

Statistical data on distribution of capacity of GD on a mode «Work on trade»

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД t , ч	Относительная продолжительность работы ГД \bar{t}
0,00-0,10	0,05	1339	0,3870
0,10-0,20	0,15	667	0,1928
0,20-0,30	0,25	91	0,0263
0,30-0,40	0,35	144	0,0416
0,40-0,50	0,45	236	0,0682
0,50-0,60	0,55	398	0,1150
0,60-0,70	0,65	417	0,1205
0,70-0,80	0,75	168	0,0486
Итого:		3460	1,000

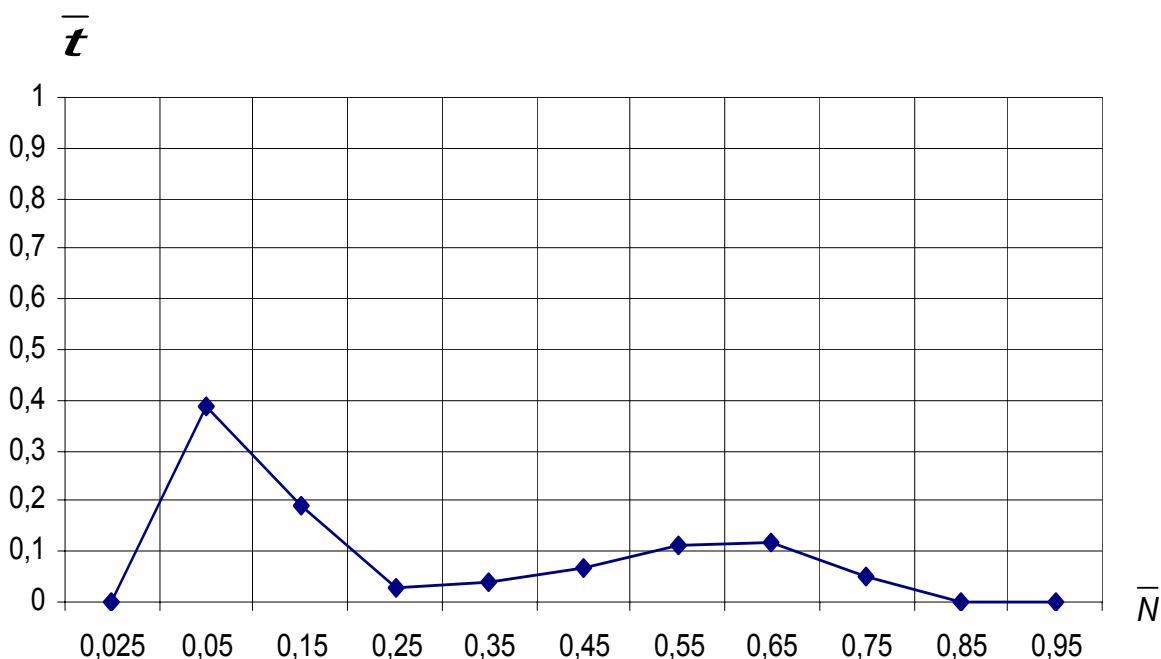


Рис. 3. Полигон распределения мощности ГД на режиме «Работа на промысле»
 Fig. 3. The range of distribution of capacity of GD on a mode «Work on trade»

Режим «Работа на промысле» характеризуется малой мощностью ГД и имеет двухмодальное распределение. ГД 58 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся в интервале от 0,05 до 0,20 и 24 % времени в интервале от 0,45 до 0,75. При этом среднее значение относительной мощности $\bar{N}_c = 0,28$ и среднее квадратическое отклонение $\bar{\sigma} = 0,25$.

Интервал отклонения мощности на режиме «Работа на промысле» от ее среднего значения составляет от 77,22 до 1364,22 кВт.

Такое отклонение объясняется спецификой работы ТР с добывающими судами.

Расчет оптимизированного 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 расчета расхода топлива положен вероятностно-статистический метод обработки фактической мощности ГД. Этот метод наиболее полно учитывает многообразие внешних факторов, влияющих на элементы судового комплекса.

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

Для расчета коэффициентов топливной характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2 использовались результаты стендовых испытаний, которые приведены в табл. 4.

$$N_n = 2574 \text{ кВт}, \quad G_n = 577,5 \text{ кг/ч}, \quad \bar{G} = \frac{G_T}{G_n}, \quad \bar{N} = \frac{N_e}{N_n}, \quad g_e = \frac{G}{N_e}.$$

Таблица 4

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 50/110-2

Table 4

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

Эффективная мощность N_e , кВт	Относительная мощность \bar{N}	Часовой расход топлива G_T , кг/ч	Относительный часовой расход топлива \bar{G}	Удельный расход топлива g_e , кг/(кВт·ч)
334,62	0,13	119,6	0,207	0,3574
1055,34	0,41	272,7	0,472	0,2585
1673,1	0,65	387,3	0,670	0,2315
2213,64	0,86	478,4	0,828	0,2161
2496,78	0,97	551,4	0,955	0,2208
2574	1,00	577,5	1.00	0,2244

Зависимость относительного часового расхода топлива от относительной мощности можно представить графически (рис. 4) или в аналитической форме в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов, используя данные табл. 4.

$$\bar{G} = 0,02\bar{N}^2 + 0,86\bar{N} + 0,1.$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,97 %, что говорит о хорошем приближении эмпирических данных к теоретическим. На рис. 4 изображены эмпирическая и теоретическая линии топливной характеристики, и они практически совпали.

На основании топливной характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2 и параметров распределения мощности на основных режимах эксплуатации танкера типа «Оханефть» определен оптимизированный расход топлива. Результаты расчета параметров мощности и расхода топлива для ГД 5ДКРН 50/110-7 танкера типа «Оханефть» на режимах «Переход» и «Работа на промысле» приведены в табл. 5.

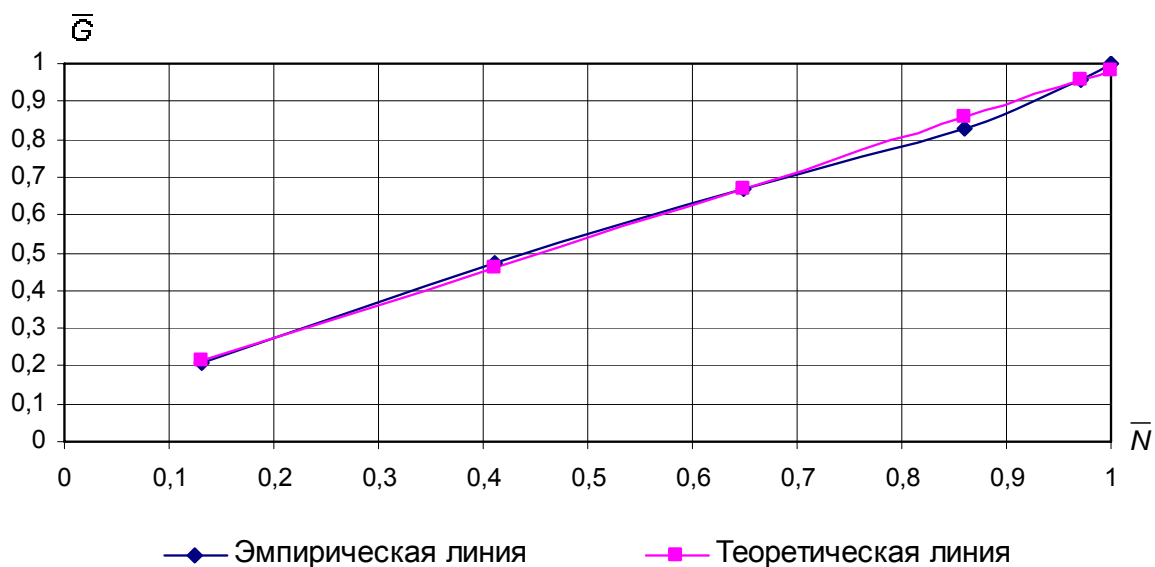


Рис. 4. Топливная характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2
 Fig. 4. Main engine fuel oil characteristics ME 5ДКРН 50/110-2

Таблица 5

Параметры мощности и расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2 на режимах «Переход» и «Работа на промысле»

Table 5

Power rating and fuel oil consumption of the ME 5 ДКРН 50/110-2 on a modes “Passage” and “Fishing”

Наименование	Режим «Переход»	Режим «Работа на промысле»
Число наблюдений, ч	4363	3460
Средняя относительная мощность	0,69	0,28
Среднеквадратическое отклонение	0,14	0,25
Средний часовой расход топлива, кг/ч	406	198
Средний суточный расход топлива, т/сут	9,8	4,8

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

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

Зависимость удельного расхода топлива от относительной мощности ГД найдена по данным стендовых испытаний (см. табл. 4), построив график эмпирической кривой (рис. 5), теоретическую зависимость находим в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов:

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

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

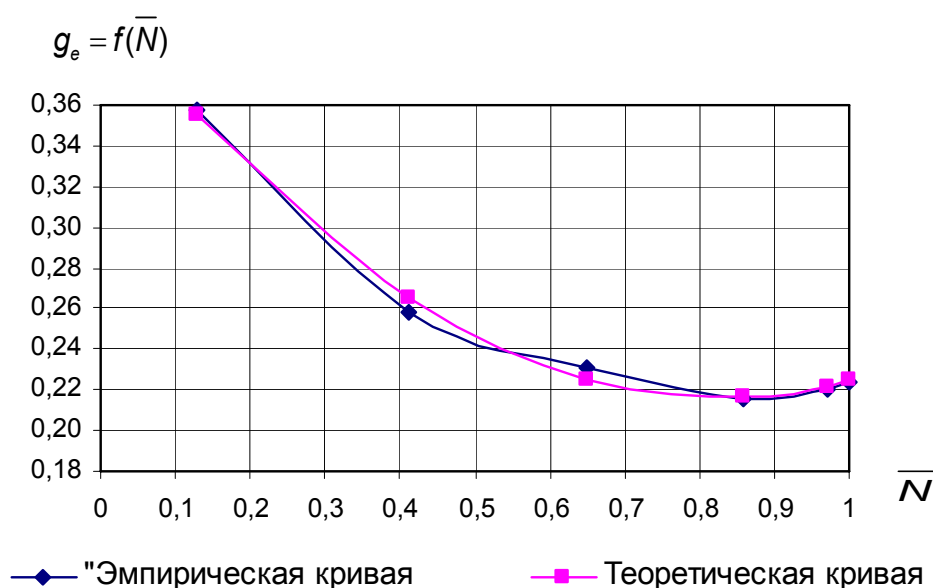


Рис. 5. Графики зависимости удельного расхода топлива от относительной мощности
Fig. 5. Curve of relative power dependence on specific fuel oil consumption for main engine

Условием минимума функции $g_e(\bar{N})$ являются 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, равным $0,22$ 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 $0,9$. Эффективная мощность при этом изменяется от 1802 до $2316,6$ кВт.

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

Библиографический список

Маницын В.В., Музалевский Н.В. Определение индивидуальных технически обоснованных норм расхода ГСМ СЭУ танкера типа «Оханефть»: отчет о НИР (промежуточ.) / Дальрыбвтуз; рук. Маницын В.В. – № ГРО 01860044670. - Инв. № 0287.0016466. – Владивосток, 1986. – 82 с.

Сведения об авторах: Маницын Владимир Викторович, профессор;
Капран Людмила Кузьминична, доцент;
Старовойтова Зоя Павловна, доцент.