
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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛАВНОГО ДИЗЕЛЯ 5DKRN50/110-2 ТАНКЕРА ТИПА «ОХАНЕФТЬ» С УМЕНЬШЕНИЕМ НОМИНАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ВИНТА 3,7 м ДО 3,54 м

Приводятся общие сведения танкера типа «Оханефть» и ее главной энергетической установки (главный двигатель, винт фиксированного шага с номинальным диаметром $D = 3,7$ м и шагом $S = 2,94$ м). Гребной винт с номинальным диаметром оказался «тяжелым» в эксплуатации, поэтому выполнена подрезка лопастей гребного винта до $D = 3,54$ м, $S = 2,94$ м.

С целью определения текущей мощности ГД в эксплуатации используется винтовая характеристика дизеля, полученная по результатам стендовых испытаний.

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

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 IMPROVING OPERATIONAL EFFICIENCY OF MAIN DIESEL ENGINE 5DKRN50/110-2 OF THE «OHANEFT» TANKER WITH REDUCTION OF NOMINAL DIAMETER 3,7m TO 3,54 m

Provides an overview of the type of tanker «Ohaneft» and its main power the installation (main engine, fixed pitch propeller with a nominal diameter $D = 3.7$ m and a step $S = 2,94$ m). Propeller with a nominal diameter was «heavy» in the exploitation, so pruning is made cavities propeller to $D = 3.54$ m, $S = 2,94$ m.

In order to determine the current power is used to operate the DG spiral ha tics diesel generated from the test benc .

Statistical data, polygons main power distributions diesel equations screw and fuel characteristics on mode «transition» and «work in the fishery». Provides recommendations for optimizing power and fuel main engines in operation.

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

Введение

Проблема повышения эффективности технической эксплуатации главного дизеля на судах морского и промыслового флота до настоящего времени является предметом исследований научно-исследовательских и проектных организаций и относится к весьма актуальным. Решение этой проблемы предусматривает исследования, направленные на сокращение затрат на горюче-смазочные материалы.

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 $224,4 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$. 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 сокращению расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2 с подрезкой гребного винта по третьему варианту ($D = 3,58 \text{ м}$, $S = 2,94 \text{ м}$), так как подрезка винта по первому варианту ($D = 3,58 \text{ м}$) не дала ожидаемого результата.

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 (см. 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.

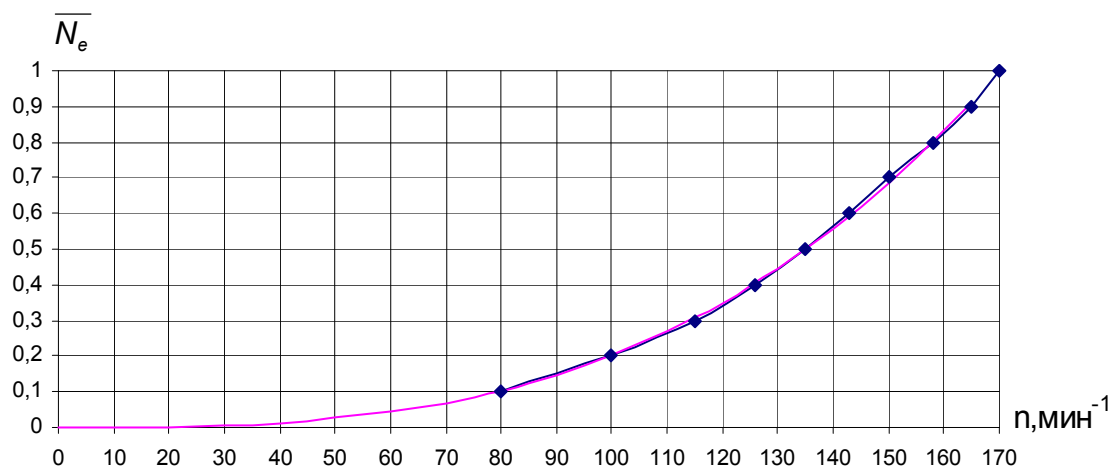


Рис. 1. Винтовая характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig. 1. Propeller characteristics of main engine 5DKRN 50/110-2

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

Для сокращения 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 третьему варианту ($D = 3,54$ 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).

Таблица 2

Статистические данные по распределению мощности ГД на режиме «переход»

Table 2

Statistic data of distribution in power of the ME in the «passage» mode

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД t , ч	Относительная продолжительность работы ГД \bar{t}
0-0,10	0,05	10	0,0090
0,10-0,20	0,15	54	0,0484
0,20-0,30	0,25	0	0,0000
0,30-0,40	0,35	36	0,0323
0,40-0,50	0,45	9	0,0081
0,50-0,60	0,55	25	0,0224
0,60-0,70	0,65	62	0,0556
0,70-0,80	0,75	197	0,1767
0,80-0,90	0,85	434	0,3892
0,90-1,00	0,95	288	0,2583
Итого		1115	1,000

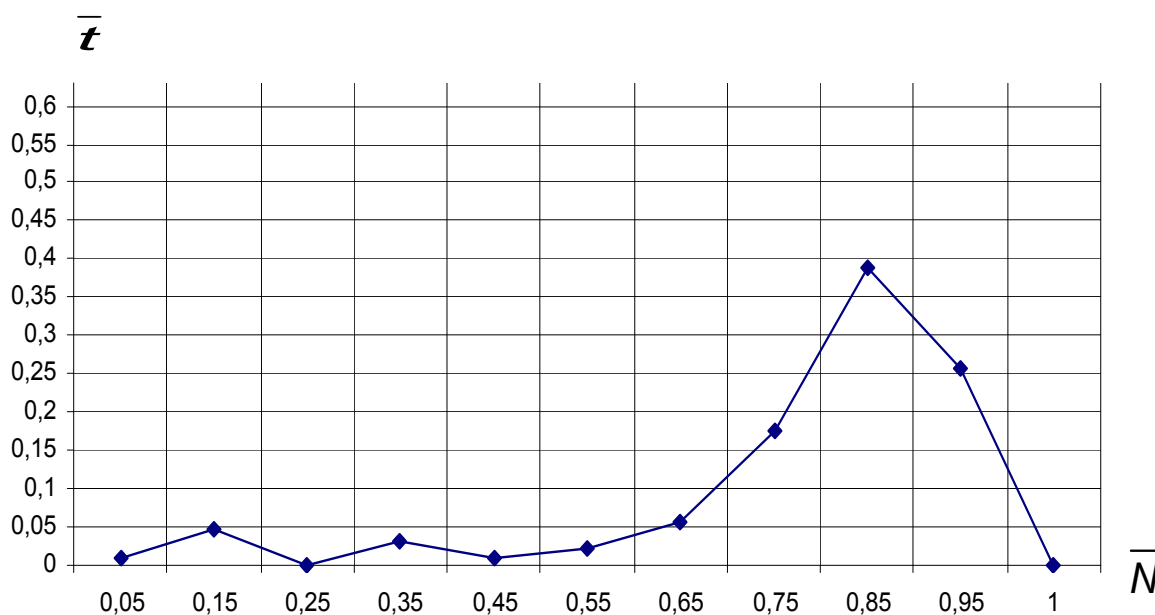


Рис. 2. Полигон распределения мощности ГД на режиме «переход»

Fig. 2. Power distribution range of the main engine on regime «at sea»

На режиме «переход» ГД 83 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся от 0,70 до 0,90 при среднем значении относительной мощности $\bar{N}_c = 0,78$, и среднеквадратическим отклонением $\bar{\sigma} = 0,21$. 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. $((\bar{N}_c - \sigma) \cdot N_{ном}; (\bar{N}_c + \sigma) \cdot N_{ном})$.

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

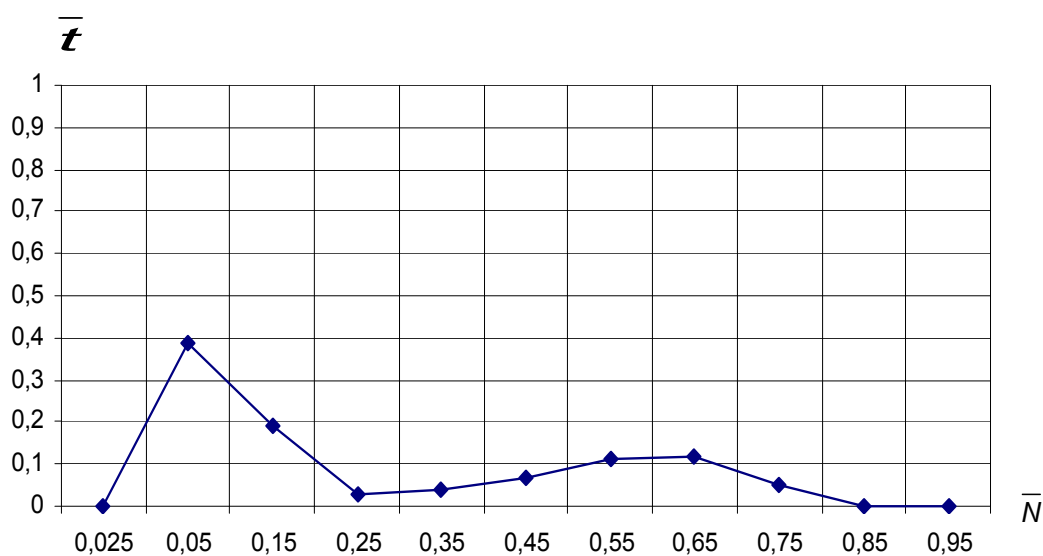


Рис. 3. Полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле»
Fig. 3. The range of distribution of capacity of GD on a mode «work on trade»

Режим «работа на промысле» характеризуется малой мощностью ГД и имеет двух-модальное 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 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 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.

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

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

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

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, они практически совпали.

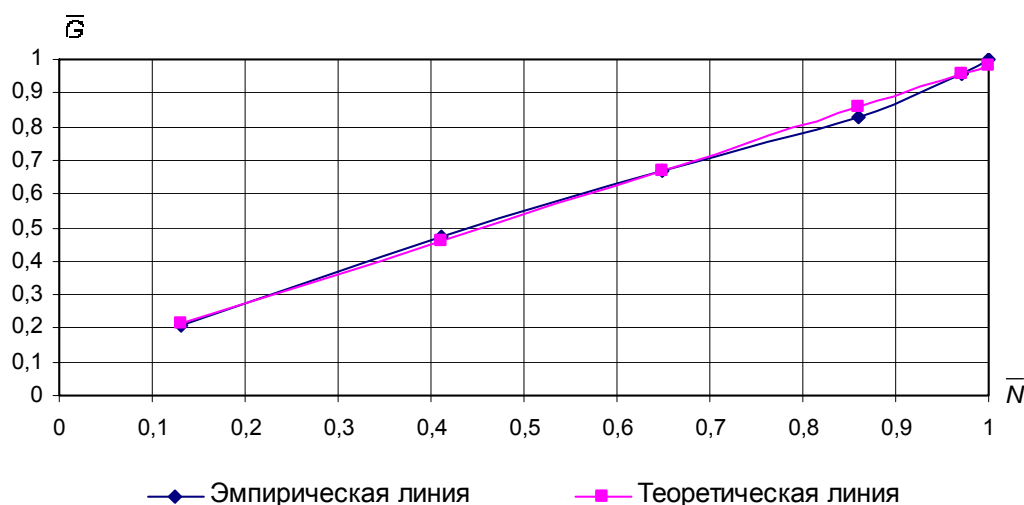


Рис. 4. Топливная характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2
Fig. 4. Main engine fuel oil characteristics ME 5DKPH 50/110-2

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

Экономия топлива в сравнении с плановым расходом достигается за счет оптимально выбранных режимов эксплуатации ГД.

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
in the «passage» and «fishing» modes**

Наименование	Режим «переход»	Режим «работа на промысле»
Число наблюдений, ч	1115	3460
Средняя относительная мощность	0,78	0,28
Среднеквадратическое отклонение	0,21	0,25
Средний часовой расход топлива, кг/ч	454	198
Средний суточный расход топлива, т/сут	10,9	4,8

**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 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.

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.

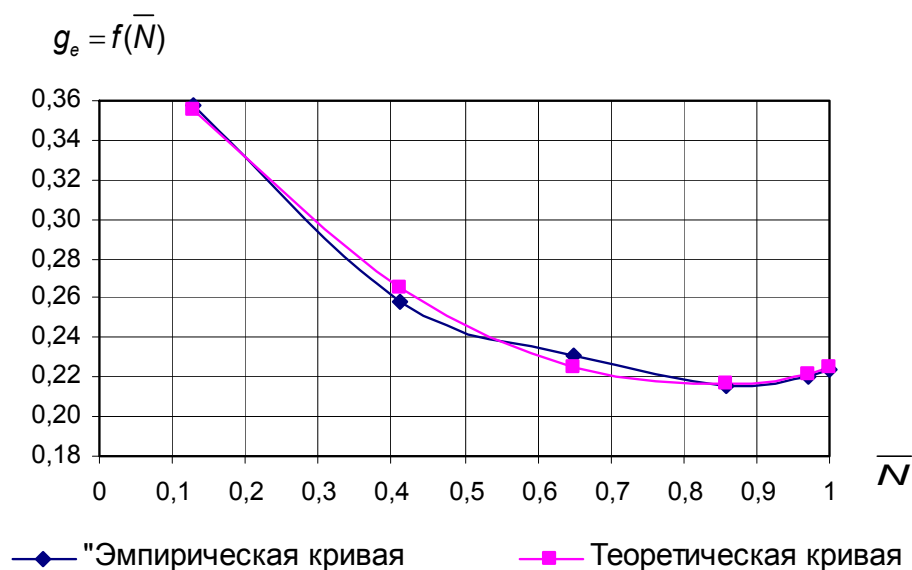


Рис. 5. Графики зависимости удельного расхода топлива от относительной мощности
 Fig. 5. Curve of relative power dependence on specific fuel oil consumption for main engine

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).

Список литературы

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