

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

ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ И РАСХОДА ТОПЛИВА ГЛАВНОГО ДИЗЕЛЯ 5ДКРН 70/125

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

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 FOR REEFER MAIN ENGINE 5DKRN 70/125

Equation of propeller characteristics and fuel oil characteristics are given, distribution power range of the main engine on regime «at sea» and «fisheries». Recommendation of power optimization and fuel consumption of main engine at operation are given.

Key word: *main engine, propeller characteristic, fuel oil characteristic, specific fuel oil 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 главного дизеля 5ДКРН 70/125 – повышение эффективности его эксплуатации.

Во время глобальных кризисов отмечается, как правило, рецессия объёмов производства, поэтому проблема оптимизации мощности и расхода топлива дизелями на судах морского и промыслового флотов становится особенно актуальной с целью повышения эффективности эксплуатации флота.

Общие сведения

Главный дизель 5ДКРН 70/125 установлен на транспортном рефрижераторе (ТР) типа «Кристалл-2», который является головным судном новой серии, построенным в г. Висмар (ГДР) под наблюдением Регистра СССР на класс КМ Л1 А2 (Маницын В.В., Музалевский Н.В.). Оно предназначено для приёма рыбопродукции у добывающих судов непосредственно в районе промысла и доставки её в порты и для обеспечения судов всеми видами снабжения.

На Дальневосточном бассейне эксплуатировалось пять ТР типа «Кристалл-2»: «Уссурийский залив», «Ульбанский залив», «Таёжный берег», «Герман Мотерн» и «Пенжинский залив».

Судовой пропульсивный комплекс имеет гребной винт фиксированного шага, приводимый в движение непосредственно дизелем фирмы МАН марки 5ДКРН70/125 (с наддувом, реверсивный, с встроенным упорным подшипником, оборудованный устройством для работы на тяжёлом топливе). Номинальная мощность 7600 кВт, номинальная частота вращения 130 мин⁻¹, удельный расход тяжёлого топлива (флотский мазут Ф-5) 198 г/(кВт·ч)+5 %.

Определение текущей мощности ГД в эксплуатации

В связи с тем, что ГД 5ДКРН70/125 с прямой передачей крутящего момента на винт 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 эффективной мощности можно воспользоваться зависимостью мощности, развиваемой дизелем, от частоты вращения коленчатого вала. Такая зависимость называется винтовой характеристикой.

Винтовая характеристика дизеля в аналитической форме с достаточной точностью рассчитывается в виде кубической параболы $\overline{N_e} = c \cdot n^3$, где $\overline{N_e} = \frac{N_e}{N_n}$, N_e – текущая эффективная мощность, N_n – номинальная мощность, n – частота вращения коленчатого вала; c – коэффициент пропорциональности, который определяется по результатам стендовых испытаний ГД 5ДКРН70/125, приведенных в табл. 1.

Используя данные стендовых испытаний (табл. 1) и метод наименьших квадратов, получен коэффициент $c = 4,55816 \cdot 10^{-7}$.

$$\overline{N_e} = 4,55816 \cdot 10^{-7} \cdot n^3.$$

Таблица 1

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН 70/125

Table 1

Results of bench tests of the ME 5 ДКРН 70/125

Эффективная мощность N_e , кВт	1900	3800	5700	7600
Относительная мощность $\overline{N_e}$	0,25	0,50	0,75	1,00
Частота вращения коленчатого вала n , мин ⁻¹	82	103	118	130

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 0,3 % и показывает хорошее соответствие эмпирических и теоретических данных. Графики эмпирической и теоретической зависимостей относительной мощности $\overline{N_e}$ ГД от частоты вращения коленчатого вала n представлены на рис. 1.

Распределение мощности ГД на основных режимах эксплуатации ТР

Основными режимами эксплуатации ТР являются «переход» в район промысла и в порт, а также «работа на промысле».

Для получения достоверных результатов распределения текущей мощности ГД 5ДКРН70/125 использован статистический метод. Этот метод позволяет обработать значительный объём исходной информации по распределению текущей мощности ГД на различных режимах его эксплуатации.

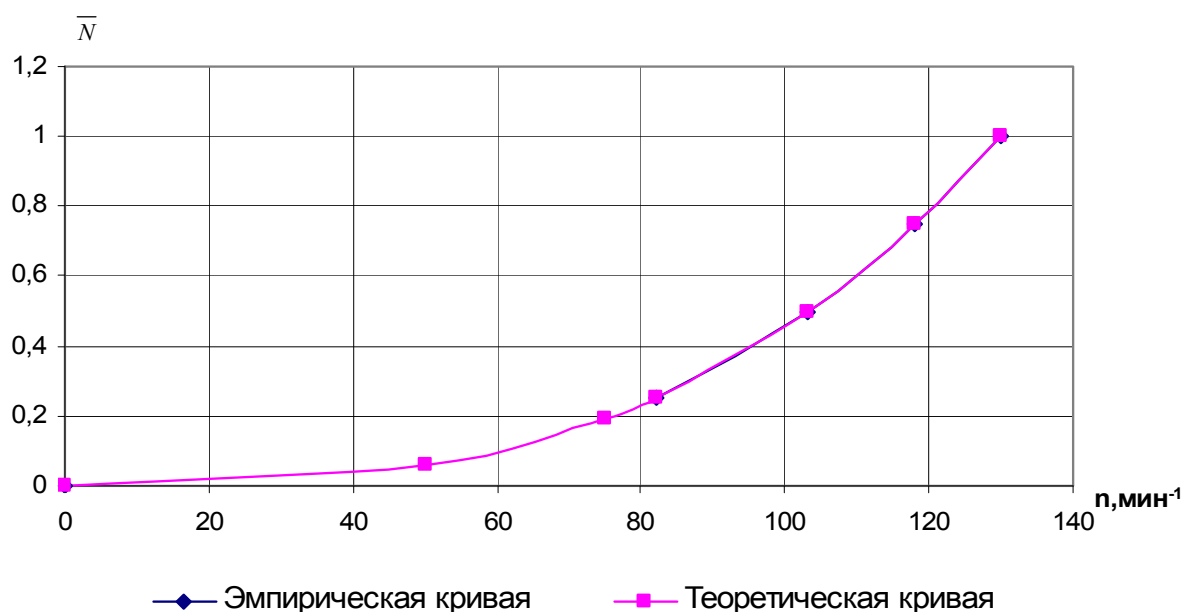


Рис. 1. Винтовая характеристика ГД 5ДКРН70/125
Fig. 1. Propeller characteristics of main engine 5DKRN 70/125

Обработка фактической мощности ГД 5ДКРН70/125 сводится к расчёту средней относительной мощности и её среднеквадратического отклонения.

Данные по мощности ГД 5ДКРН70/125 для режимов «переход в район промысла» и «переход в порт» объединены в одну группу, так как текущая мощность ГД на этих режимах незначительно отличается друг от друга. Данные по распределению мощности ГД 5ДКРН70/125 ТР типа «Кристалл-2» на режиме «переход» приведены в табл. 2.

Таблица 2

Данные по мощности ГД 5ДКРН 70/125 на режиме «переход»

Table 2

Statistic data of distribution in power of the ME 5 ДКРН 70/125 in the «passage» mode

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД t , ч	Относительная продолжительность работы ГД t
0,00-0,10	0,05	42	0,003
0,10-0,20	0,15	23	0,002
0,20-0,30	0,25	8	0,001
0,30-0,40	0,35	100	0,008
0,40-0,50	0,45	60	0,005
0,50-0,60	0,55	114	0,009
0,60-0,70	0,65	375	0,030
0,70-0,80	0,75	1390	0,113
0,80-0,90	0,85	9120	0,739
0,90-1,00	0,95	1114	0,090
Итого:		12346	1,000

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

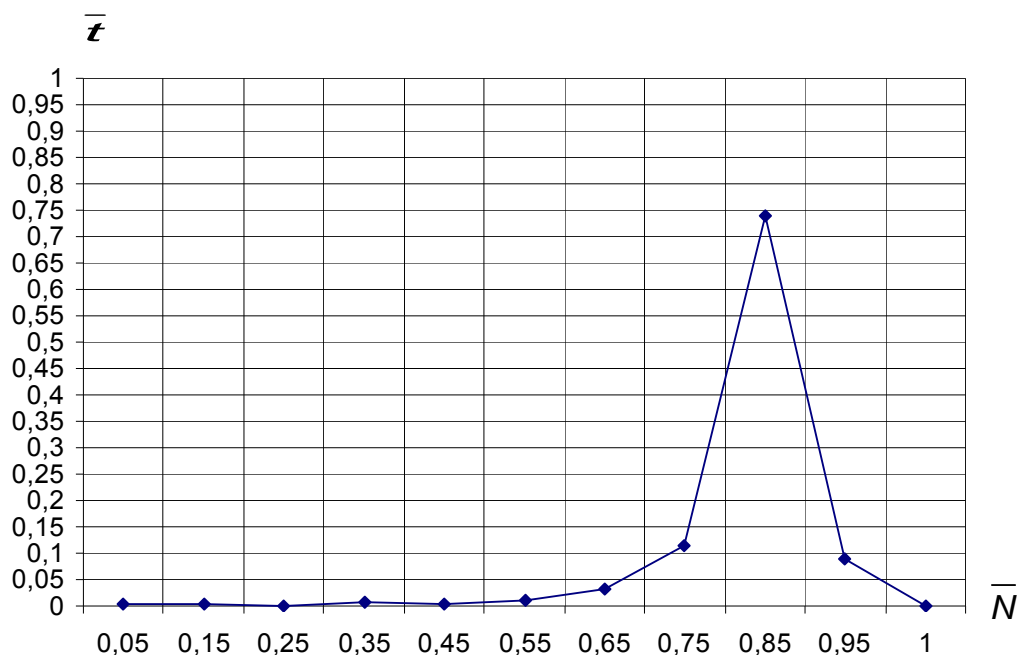


Рис. 2. Полигон распределения мощности ГД на режиме «переход»
 Fig. 2. Power distribution range of the main engine on regime «at sea»

Средняя относительная мощность ГД на режиме «переход» составила $\bar{N}_{cp} = \sum \bar{N} \cdot \bar{t} = 0,83$, среднее квадратическое отклонение $\sigma = 0,10$.

На режиме «переход» ГД 85 % времени работает в интервале относительной мощности (0,70-0,90). Характер распределения мощности ГД, как видно из полигона распределения – одномодальный.

Данные по мощности ГД 5ДКРН70/125 на режиме «работа на промысле» приведены в табл. 3.

Таблица 3
 Данные по мощности ГД 5ДКРН 70/125 на режиме «работа на промысле»

Table 3

Statistic data of the ME 5 ДКРН 70/125 in the «fishing» mode

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД t , ч	Относительная продолжительность работы ГД \bar{t}
0,00-0,10	0,05	79	0,293
0,10-0,20	0,15	19	0,070
0,20-0,30	0,25	00	0,000
0,30-0,40	0,35	3,0	0,011
0,40-0,50	0,45	4,0	0,015
0,50-0,60	0,55	7,0	0,026
0,60-0,70	0,65	30	0,111
0,70-0,80	0,75	56	0,207
0,80-0,90	0,85	46	0,170
0,90-1,00	0,95	26	0,096
Итого		270	1,000

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

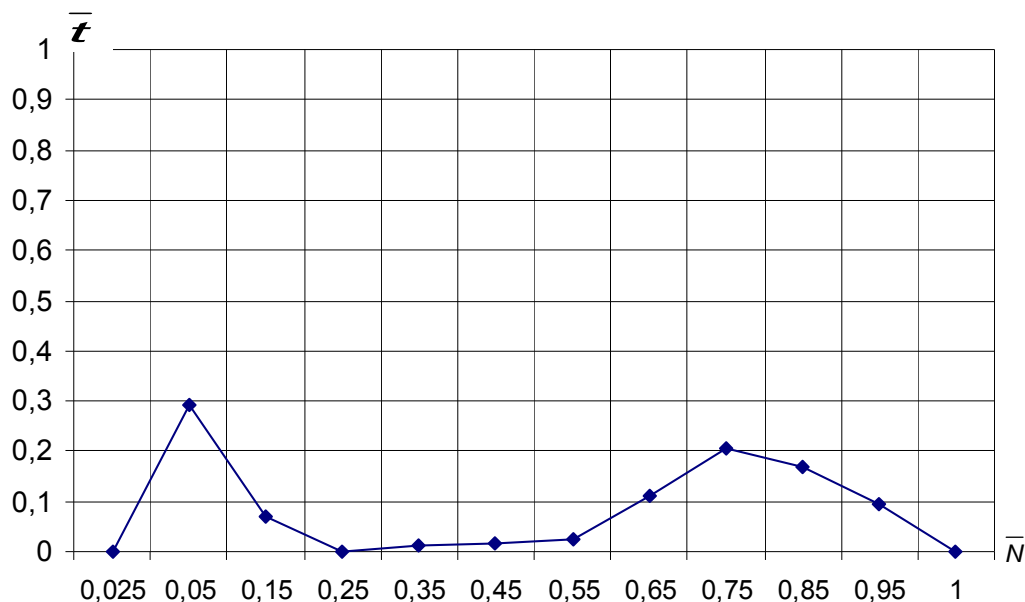


Рис. 3. Полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле»
Fig. 3. Main engine power distribution range on regime «fisheries»

Режим «работа на промысле» характеризуется малыми значениями мощности ГД и двухмодальным распределением относительной продолжительности работы ГД, из которого следует, что ГД ТР типа «Кристалл-2» 36 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся в интервале от 0,05 до 0,20 и 49 % времени в интервале от 0,60 до 0,90. При этом среднее значение относительной мощности $\bar{N}_c = 0,51$ и среднее квадратическое отклонении $\bar{\sigma} = 0,35$. Интервал отклонения мощности на режиме «работа на промысле» от её среднего значения составляет от 1216 до 6536 кВт.

Расчёт оптимизированного расхода топлива ГД 5ДКРН70/125 ТР типа «Кристалл-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 расчёта оптимизированного расхода топлива необходима топливная характеристика ГД. Топливная характеристика дизеля – это зависимость часового расхода топлива от его мощности, определяется по результатам стендовых испытаний.

Для расчета коэффициентов топливной характеристики ГД использовались результаты стендовых испытаний, которые приведены в табл. 4.

$$N_n = 7600 \text{ кВт}, G_n = 15278 \text{ кг/ч}, \bar{G} = \frac{G}{G_n}, \bar{N} = \frac{N_e}{N_n}, g_e = \frac{G}{N_e}.$$

Зависимость относительного часового расхода топлива от относительной мощности зададим уравнением второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов, используя данные табл. 4:

$$\bar{G} = 0,017\bar{N}^2 + 0,967\bar{N} + 0,015 .$$

Таблица 4

Результаты стендовых испытаний ГД 5ДКРН70/125

Table 4

Results of bench tests of the ME 5 ДКРН 70/125

Эффективная мощность N_e , кВт	Относительная мощность \bar{N}	Часовой расход топлива G , кг/ч	Относительный часовой расход топлива \bar{G}	Удельный расход топлива g , кг/(кВт·ч)
1900	0,25	406,5	0,266	0,214
3800	0,50	773,1	0,506	0,203
5700	0,75	1110	0,727	0,195
7600	1,00	1527,8	1,000	0,201
8360	1,10	1698,7	1,110	0,203

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,6 %, что говорит о хорошем приближении эмпирических данных к теоретическим. На рис. 4 изображены эмпирическая и теоретическая линии топливной характеристики.

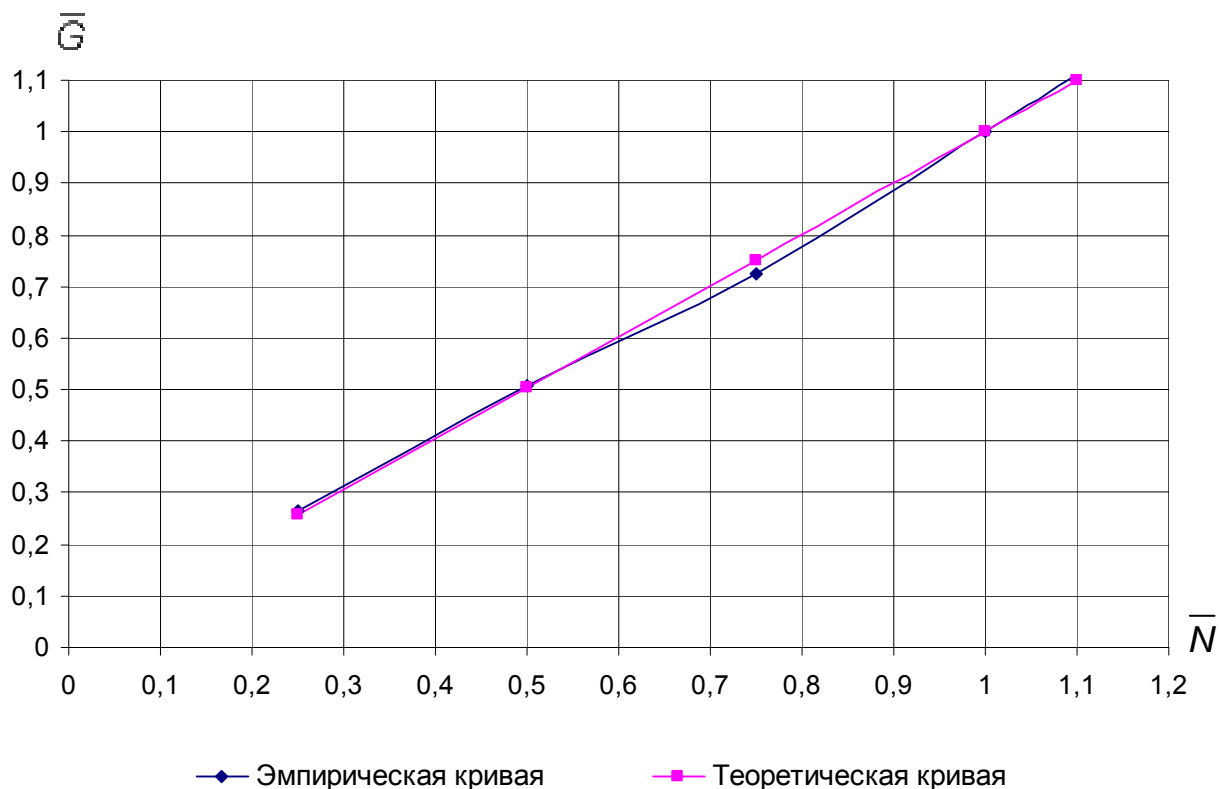


Рис. 4. Топливные характеристики ГД 5ДКРН70/125
 Fig. 4. Main engine fuel oil characteristics ME 5 ДКРН 70/125

На основании топливной характеристики ГД и параметров распределения мощности для основных режимов эксплуатации ТР типа «Кристалл-2» определен оптимизированный расход топлива. Результаты расчета расходов топлива для ГД приведены в табл. 5.

Таблица 5

Оптимизированный расход топлива ГД 5ДКРН70/125

Table 5

**Power rating and fuel oil consumption of the ME 6 ДКРН 70/125
in the «passage» and «fishing» modes**

Наименование	Режим «переход»	Режим «работа на промысле»
Число наблюдений, ч	1766	578
Средняя относительная мощность	0,83	0,51
Среднеквадратическое отклонение	0,1	0,35
Средний часовой расход топлива, кг/ч	1155,66	750
Среднесуточный расход топлива, т/сут	27,74	18

Оптимизация мощности ГД по минимальному удельному расходу топлива

Одним из путей повышения эффективности эксплуатации ТР является оптимизация эксплуатационной мощности и расхода топлива, что приведёт к снижению затрат на топливо, а следовательно, сокращению часового расхода топлива, зависящего от его удельного расхода и мощности, развиваемой ГД 5ДКРН70/125.

Зависимость удельного расхода топлива от относительной мощности ГД найдена по данным стендовых испытаний (см. табл. 4) в виде полинома второй степени, параметры которого определены по методу наименьших квадратов:

$$g_e(\bar{N}) = 0,064\bar{N}^2 - 0,099\bar{N} + 0,235 .$$

Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 0,6 %, что говорит о хорошем приближении.

Условием минимума функции $g_e(\bar{N})$ является равенство нулю ее производной. Решением уравнения $g'_e(\bar{N}) = 0$ является $\bar{N} = 0,78$, а удельный расход топлива при этом $g_e(\bar{N}) = 0,197$ кг/(кВт·ч) – это минимальное значение функции. На рис. 5 изображены графики эмпирической и теоретической зависимостей.

Если принять $g_e(\bar{N}) = 0,200$ кг/(кВт·ч), то область изменения предпочтительной относительной мощности \bar{N} ГД будет находиться в пределах от 0,55 до 1,00. Эффективная мощность при этом изменяется от 4176 до 7600 кВт.

Следовательно, для ГД 5ДКРН 70/125 оптимизированная мощность в указанной области характеризуется минимальными значениями удельного расхода топлива от 0,197 до 0,200 кг/(кВт·ч).

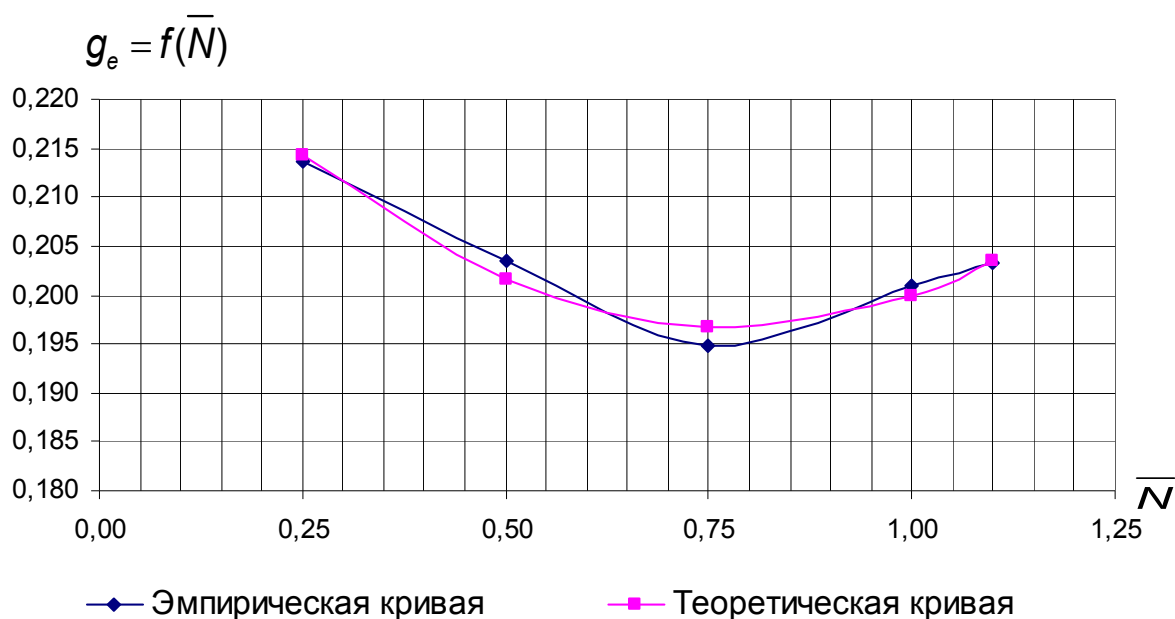


Рис. 5. Графики зависимости удельного расхода топлива от относительной мощности ГД 5ДКРН70/125
 Fig 5. Curve of relative power dependence on specific fuel oil consumption for main engine 5DKRN 70/125

Список литературы

Маницын В.В., Музалевский Н.В. Определение технически обоснованных норм расхода ГСМ СЭУ ТР типа «Татарстан» и «Кристалл-2»: отчет о НИР (промежуточ.) / Дальрыбвтуз; Руководитель В.В. Маницын. – № ГРО 1860044670. – Инв. № 02880024350. – Владивосток, 1987. – 94 с.

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