

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 ГЛАВНЫМ  
ДИЗЕЛЕМ 5ДКРН50/110-2 ТАНКЕРА ТИПА «КАЛИНИНГРАДНЕФТЬ»  
С ГИДРАВЛИЧЕСКИ ОБЛЕГЧЕННЫМ ГРЕБНЫМ ВИНТОМ**

*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 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**

**OPTIMIZATION OF POWER AND FUEL CONSUMPTION  
MAIN DIESEL 5DKRN50 / 110-2 TANKERS «KALININGRADNEFT»  
WITH HYDRAULIC RELIEF 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**

Проблема повышения эффективности технической эксплуатации главных дизелей (ГД) 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 за счет оптимизации режимов работы ГД.

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

**Общие сведения**

Танкер «Калининграднефть» является головным судном, построенным в Финляндии, который предназначен для перевозки горюче-смазочных материалов в районы промысла и снабжения ими добывающих и обрабатывающих судов.

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

Номинальная мощность ГД 2574 кВт, номинальная частота вращения  $170 \text{ мин}^{-1}$ , удельный расход топлива 224,4 г/(кВт·ч). Топливная система ГД позволяет ему работать на тяжелом топливе.

На головном танкере «Калининграднефть» был установлен 4-лопастной винт фиксированного шага с номинальным диаметром  $D = 3,7 \text{ м}$  и шагом  $S = 2,94 \text{ м}$ , который оказался «тяжелым» в эксплуатации, поэтому на танкерах последней постройки «Лукоморье», «Усть-Ижма» финская фирма «Раума-Репола» установила гребные винты гидравлически облегченные за счет уменьшения шага винта на 0,11 м ( $D = 3,7 \text{ м}$ ,  $S = 2,83 \text{ м}$ ). Шаг винта – это расстояние, на которое перемещается винт за один оборот.

В этой статье приведены результаты исследования по сокращению расхода топлива ГД 5ДКРН 50/110-2 с гидравлически облегченным винтом за счет уменьшения шага гребного винта с  $S = 2,94 \text{ м}$  до  $S = 2,83 \text{ м}$ .

### 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.

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.

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 $n$ , $\text{мин}^{-1}$	80	100	115	126	135	143	150	158	165	170

Графики эмпирической 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.

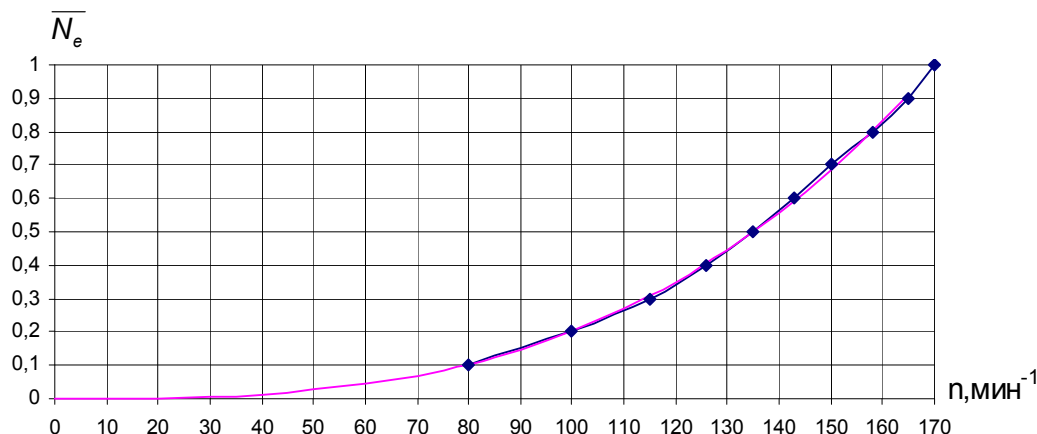


Рис. 1. Винтовая характеристика ГД 5ДКРН 50/110-2  
Fig. 1. Propeller characteristics of main engine 5DKRN 50/110-2

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

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 гидравлически облегченные винты. При этом статистические данные по мощности ГД для режимов «переход на промысел» и «переход в порт» объединены в одну группу.

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 с гидравлически облегченным винтом танкеров «Приморье» и «Усть-Илимск» на режиме «переход» приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 с гидравлически облегченным винтом на режиме «переход»

Table 2

### Statistical data on the distribution of power DG 5DKRN 50 / 110-2 with hydraulic screw lightweight mode to «transition»

Интервалы мощности в относительных единицах	Середина интервала	Продолжительность работы ГД $t$ , ч	Относительная продолжительность работы ГД $\bar{t}$
0–0,10	0,05	6	0,0008
0,10–0,20	0,15	42	0,0058
0,20–0,30	0,25	0	0,0000
0,30–0,40	0,35	60	0,0083
0,40–0,50	0,45	96	0,0133
0,50–0,60	0,55	2080	0,2878
0,60–0,70	0,65	3570	0,4939
0,70–0,80	0,75	1374	0,1901
0,80–0,90	0,85	0	0
0,90–1,00	0,95	0	0
Итого:		7228	1,000

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

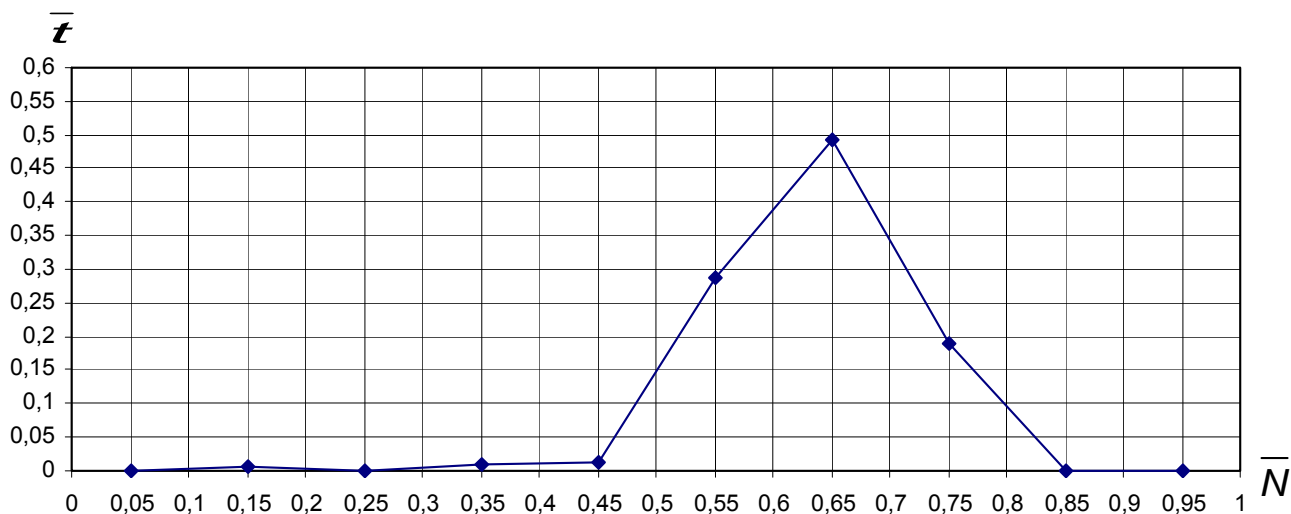


Рис. 2. Полигон распределения мощности ГД с гидравлически облегченным винтом на режиме «переход»

Fig. 2. Polygon power distribution DG hydraulically lightweight screw on regime «transition»

На режиме «переход» ГД 99 % времени работает с относительной мощностью, изменяющейся от 0,45 до 0,75 от номинальной мощности при среднем значении относительной мощности  $\bar{N}_c = 0,63$  и среднеквадратическим отклонением  $\bar{\sigma} = 0,087$ . Характер распределения мощности ГД, как видно из полигона распределения, одномодальный. Интервал отклонения мощности ГД от среднего значения на режиме «переход» составляет от 1403,7 кВт до 1850,26 кВт.

$$((\bar{N}_c - \sigma) \cdot N_{ном}; (\bar{N}_c + \sigma) \cdot N_{ном}).$$

Опыт эксплуатации танкеров с гидравлически облегченным гребным винтом ( $D = 3,7$  м,  $S = 2,83$  м) и расчет параметров распределения мощности дизеля показали, что такой винт не позволяет использовать полностью мощность ГД на режиме «переход».

Статистические данные по распределению мощности ГД 5ДКРН50/110-2 танкеров «Лукоморье» и «Усть-Ижма» с гидравлически облегченным винтом на режиме «работа на промысле» приведены в табл. 3.

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

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 танкеров, которые не только производят выгрузку топлива промышленным судам на малых ходах, но и совершают переходы в районе промысла.

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 продолжи- тельность 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

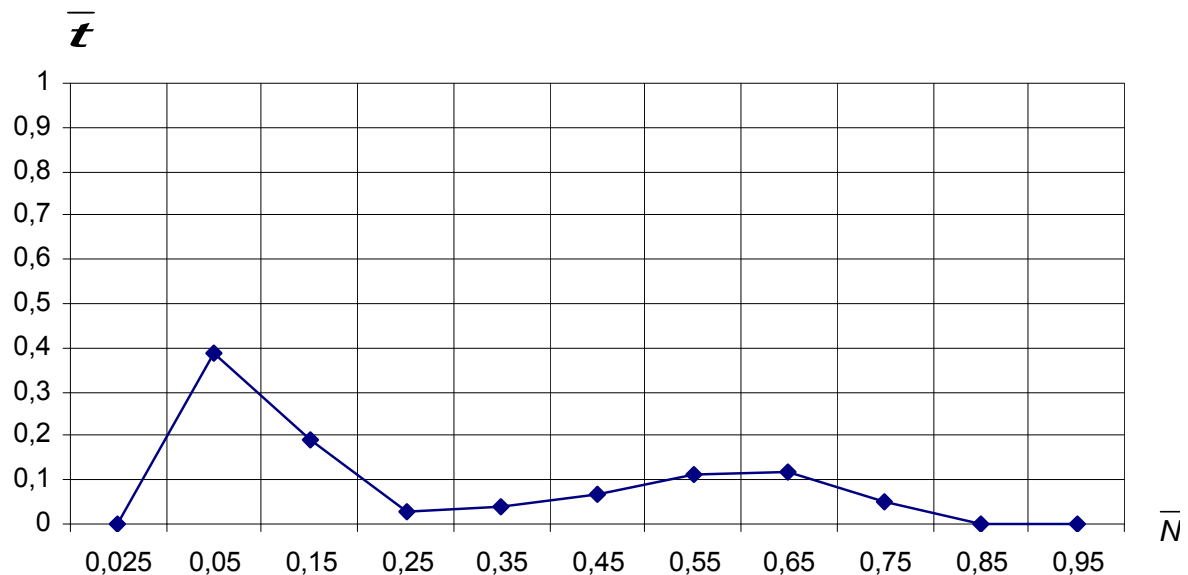


Рис. 3. Полигон распределения мощности ГД на режиме «работа на промысле»  
Fig. 3. The range of distribution of capacity of GD on a mode «work on trade»

**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

$N_n = 2574$  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 дизеля;  $\bar{N} = \frac{N_e}{N_n}$  – относительная мощность дизеля;  $g_e = \frac{G}{N_e}$  – удельный расход топлива ГД.

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 ГД, и они практически совпали.

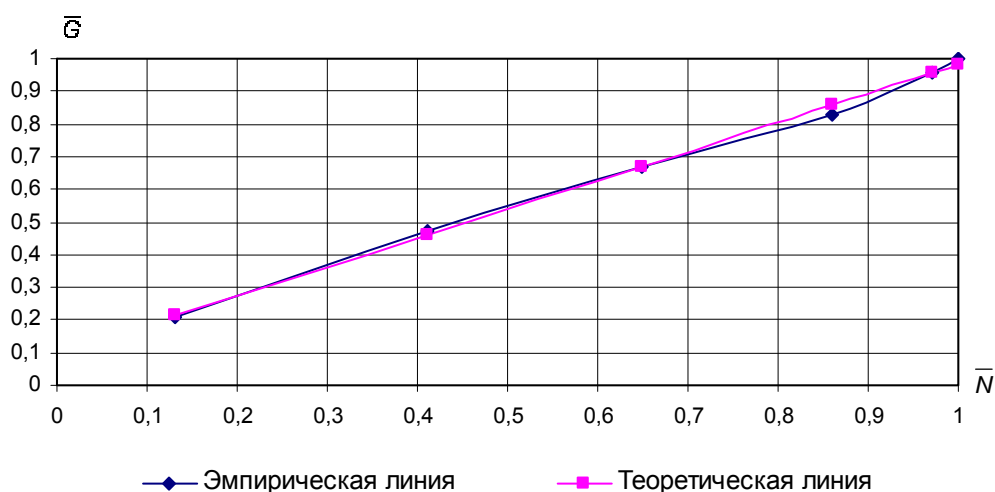


Рис. 4. Топливная характеристики ГД 5ДКРН 50/110-2  
Fig.4. Main engine fuel oil characteristics ME 5ДКРН 50/110-2

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

Экономия топлива в сравнении с плановым расходом достигается за счет фактической мощности ГД на основных режимах работы танкера.

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	7228	3460
Средняя относительная мощность	0,63	0,28
Среднеквадратическое отклонение	0,087	0,25
Средний часовой расход топлива, кг/ч	376,9	178,57
Средний суточный расход топлива, т/сут	9,05	4,29

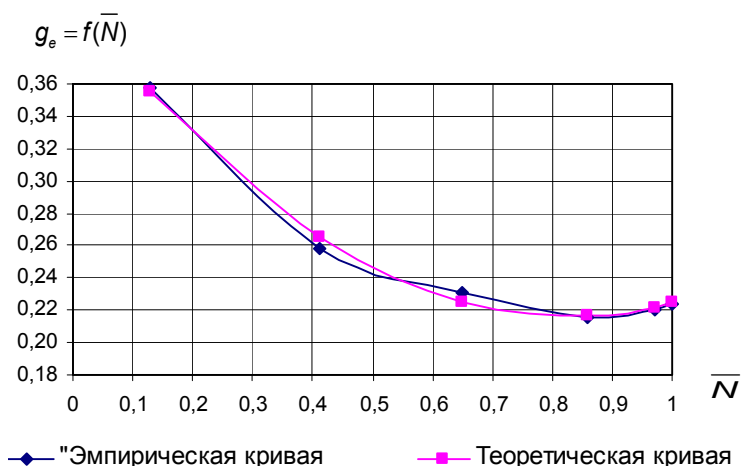
**Определение предпочтительной мощности ГД 5ДКРН 50/110-2 по минимальному удельному расходу топлива**

Повышением эффективности технической эксплуатации ГД танкера является оптимизация эксплуатационной мощности и расхода топлива, что приведет к снижению 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.

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

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



Средняя ошибка аппроксимации при этом составляет 1,18 %, что говорит о хорошем приближении.

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 0,2014 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 ГД будет находиться в пределах мощности от 0,7 до 0,9 номинальной мощности. Эффективная мощность при этих значениях будет изменяться от 1478 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 изменится от 1802 до 2316,6 кВт.

### Список литературы

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

2. Наливные суда флота рыбной промышленности. – Клайпеда: Клайпедское отделение Гипрорыбфлота, 1987. – 281 с.

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