

УДК 621.311.22

А.А. Панасенко, В.С. Данилов

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЭУ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ НАГРУЗКИ

Ставится проблема снижения экономичности главного двигателя вследствие различных возмущающих воздействий. Сделана попытка оценить это снижение экономичности. Поставлена задача – повысить тепловую эффективность главного двигателя и судовой энергетической установки улучшением качества регулирования.

Ключевые слова: *пропульсивный комплекс, параметры главного двигателя, возмущающие воздействия.*

A.A. Panasenko, V.S. Danilov

THE THERMAL EFFICIENCY OF POWER PLANTS UNDER THE SINUSOIDAL PERTURBATION LOAD

The article raises the problem of reducing the efficiency of the main engine due to various disturbing influences. An attempt was made to estimate this reduction efficiency. The task is to increase the thermal efficiency of the main engine and ship power plants to improve the quality of regulation.

Key words: *a propulsive complex, parameters of the main engine, the revolting influences.*

Эффективность использования теплоты в судовой энергетической установке (СЭУ) зависит от эффективности ее использования в каждом элементе и в первую очередь в главном судовом двигателе.

Как известно, максимум коэффициента полезного действия (КПД) практически любого механизма приходится на режим, при котором мощность равна ~75 % от номинальной. При этом требуемая мощность сопротивления двигателя является функцией его частоты вращения и времени, что делает эту функцию случайной величиной.

При эксплуатации главного судового малооборотного дизеля (МОД) более 90 % бюджета времени приходится на ходовое время. Колебания винтовой характеристики доходят до 20 % в сторону утяжеления и до 30 % в сторону облегчения по сравнению с номинальной.

Для удержания заданной частоты вращения на главном дизеле установлен всережимный регулятор скорости (ВРС). Время переходного процесса, обеспечиваемое регулятором – до 10 с.

Кроме регулятора частоты вращения, работу дизеля обеспечивают регуляторы температуры охлаждающей воды, масла, воздуха и регулятор вязкости тяжелого топлива. Время переходного процесса, обеспечиваемое регуляторами температуры – до 20 мин.

Потери теплоты современного МОД с отходящими газами – 27–30 %, с охлаждением воздуха – 12–14 %, с охлаждением цилиндров – 5–7 %, с охлаждением масла – 3–5 % [1].

Переходный процесс вызывается различными возмущениями, основными из них являются изменение задания регулятору и изменение нагрузки главного двигателя. Изменение задания частоты вращения в общем бюджете времени транспортного судна занимает малую долю. Целесообразно рассмотреть эффективность использования теплоты в главном судовом двигателе в зависимости от изменения нагрузки.

Изменение нагрузки главного двигателя встречается двух видов: скачкообразное и периодическое (синусоидальное). Колебания нагрузки совершаются с периодом 5–17 с [2].

При изменении мощности, которое вызвано колебаниями винтовой характеристики, изменяются и регулируемые температуры охлаждающих сред, что влечет за собой изменение основных составляющих энергетического баланса главного дизеля.

Для решения поставленной задачи – повышение тепловой эффективности СЭУ улучшением качества регулирования – необходимо выявить расчетом, какая доля теплоты пропадает в окружающую среду.

При отсутствии системы автоматического регулирования частоты вращения судно будет одновременно с двигателем разгоняться и тормозиться с периодом колебания нагрузки от минимальной до максимальной периодической величины частоты вращения. Судно будет двигаться «рывками». При работе с регулятором частоты вращения максимальная и минимальная величины частоты вращения будут меньше, чем при первом варианте и не будут превосходить величины максимального заброса 10 %.

Рассчитаем на примере главного двигателя 6L90 GFCA, установленного на танкере дедвейтом 180 000 т, потери теплоты, вызванные периодическим изменением нагрузки.

Примем, что двигатель работает на режиме 75 % $N_{ен}$ с частотой $n = 89 \text{ мин}^{-1}$ и мощностью $N_e = 13050 \text{ кВт}$. Удельный расход топлива равен 183 г/(кВтч). Зона нечувствительности регулятора равна 1 %. Но вследствие инерционности регулятора и двигателя, при синусоидальном изменении момента сопротивления нагрузки, частота вращения двигателя максимально отклоняется на $\pm 2 \%$ от номинальных оборотов. Необходимо найти потери мощности вследствие динамического режима.

Момент сопротивления при заданных условиях достигает максимального значения, которое отличается от установившегося на 3,96 %. Заменяем синусоиду мгновенных значений действующими значениями (ступенчатая линия), отличающимися от максимальных на величину, равную $\sqrt{2}$ (рисунок).

Вычисляем, что колебания мощности происходят от $N_{e \min} = 12501,9 \text{ кВт}$ до $N_{e \max} = 13245,8 \text{ кВт}$. Удельный расход топлива на этих режимах равен 185 г/(кВтч) [3]. Следовательно, потери топлива 2500,2 г/ч, что составляет $\sim 0,54 \%$ для эффективного КПД.

Однако без регулятора частоты вращения главного двигателя колебания мощности будут происходить с большим разбросом, и, соответственно, потери топлива будут значительно больше.

Для характеристики потерь энергии существует показатель – коэффициент полезного действия (КПД) пропульсивного комплекса. Пропульсивный комплекс представляет собой взаимосвязанную систему, состоящую из элементов: главный двигатель, валопровод, винт и корпус судна. Выходной величиной в комплексе является мощность, идущая на перемещение судна в заданном направлении. Входной величиной является мощность, подведенная от двигателя к винту [4].

Для примера, потери на винте современного контейнеровоза составляют 15,6% [5]. Распределение потерь приведено в табл. 1.

Согласно распределению энергии, приведенному в табл. 1, КПД пропульсивного комплекса современного судна равен 66,7 %.

С целью расчета потерь энергии при изменении погодных условий авторами статьи были сняты данные на тренажере DieselSim DPS100, установленном в МГУ им. адм. Г.И. Невельского.

На пульте инструктора задавались различные погодные условия (баллы волнения моря) в условиях полного хода главного двигателя (указатель нагрузки 92 %). Результат оценивался по параметрам: удельный расход топлива и расход топлива на милю пройденного расстояния.

Результаты эксперимента приведены в табл. 2.

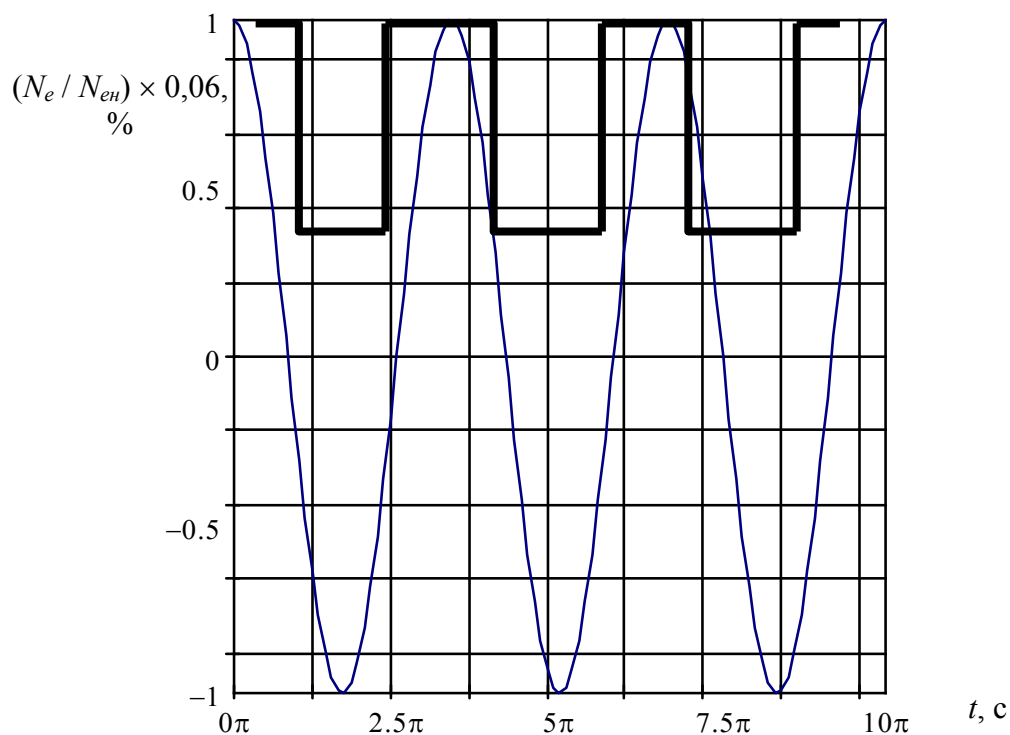


Иллюстрация изменения мощности двигателя при периодически изменяющейся нагрузке
Illustration of changes of engine power while periodically changing load

Таблица 1

Потери энергии при передаче на движение судна, %

Table 1

Losses of energy by transfer on the movement of the vessel, %

Теплота топлива (Bunker)	Работа на валу (Shaft)	Потери передачи (Transmission loss)	Потери на винте (Propeller loss)	Работа по перемещению судна (Propulsion power)
100	50,5	1,3	15,6	33,7

Таблица 2

Потери энергии при передаче на движение судна

Table 2

Losses of energy by transfer on the movement of the vessel

Состояние моря	Мощность главного двигателя, кВт	Скорость судна, уз	Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	Расход топлива на милю пройденного расстояния, кг/милю
Волнение моря 0,5 баллов	17400	12	200	250
Волнение моря 3 балла	17600	11	210	270

Таким образом, как следует из результатов эксперимента, тепловые потери двигателя увеличились на 5 %, а потери на винте увеличились на 8 %. Улучшением качества регулирования есть возможность добиться значительной экономии топлива.

Список литературы

1. Седельников, Г.Д. Энергосберегающие системы малооборотных дизелей / Г.Д. Седельников. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 230 с.
2. Исаков, Л.И. Техническая эксплуатация судовой автоматики: учебник для ПТУ / Л.И. Исаков – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 216 с.
3. Возницкий, И.В. Методические основы работы на тренажере дизельной силовой установки: текст лекций / И.В. Возницкий, А.Л. Лемещенко, А.С. Пунда. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1990. – 44 с.
4. Соболенко, А.Н. Дипломное проектирование с использованием персонального компьютера / А.Н. Соболенко, Н.В. Музалевский: учеб. пособие. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2002. – 600 с.
5. ABS Seminar «LNG as Fuel, Energy Efficiency & Arctic Update» (Hyunday Hotel – Vladivostok, 20 May 2014).

Сведения об авторах: Панасенко Андрей Александрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: Panasenko2005@yandex.ru;
Данилов Виктор Сергеевич, инженер, e-mail: dvs_4591@mail.ru.