

## ВЫБОР ЭКОНОМИЧНОЙ СКОРОСТИ ХОДА СУДНА С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В настоящее время все актуальнее становится задача экономии топлива при эксплуатации судов. Отчасти это связано с повышением цен на нефть и горюче-смазочные материалы. За период с 1991 г. по 2011 цена на нефть выросла более чем 7 раз (рис. 1) и, как следствие из этого, значительно повысилась стоимость эксплуатации судов. Горюче-смазочные материалы составляют около 80 % эксплуатационных расходов судна [1].

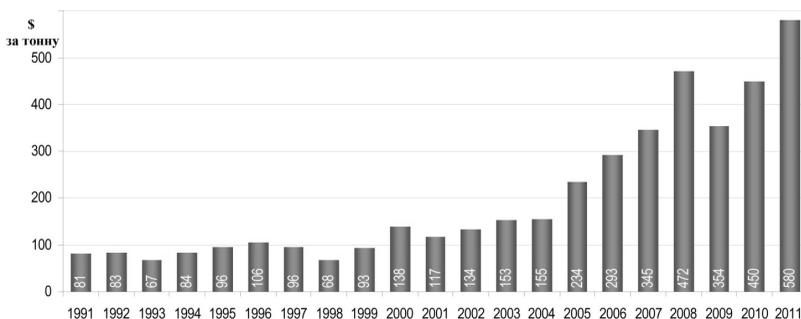


Рис. 1. Средняя стоимость топлива IFO 380 (порт Роттердам) с 1991 по 2011 годы

Одним из эффективных средств снижения расхода топлива является работа главного двигателя (ГД) на режимах экономичного хода. Как показывает практика, работа на этих режимах позволяет снизить расходы топлива за рейс на 10 ... 15 %. При этом, даже незначительное снижение скорости позволяет получить ощутимый выигрыш в расходе топлива [1].

Обычно скорость хода судов снижается капитаном интуитивно без учета конкретных особенностей судна и его силовой установки, а также внешних условий. При этом может ухудшиться качество рабочих процессов в двигателе и, соответственно, уменьшиться срок службы отдельных деталей. Как показал проведенный в работе [2] анализ, "сиюминутный" выигрыш может привести к увеличению затрат при длительной эксплуатации судна.

Таким образом, можно заключить, что проблема обоснования вы-

бора режима экономичного хода является актуальной.

Решению данной проблемы посвящены работы [3, 4, 5, 6], однако, она далеко не исчерпана. Основная часть исследований связана с оценкой и оптимизацией параметров экономичной работы на стадии проектирования и доводки судна. Используя проведенные исследования как базовые, в данной статье предлагается упрощенное решение этой задачи при эксплуатации судна.

Для решения поставленной задачи обычно используются данные приемно-сдаточных испытаний – как начальная точка или оптимальные параметры экономичного хода (рис. 2 и 3). С течением времени техническое состояние энергетической установки и судна в целом меняется: обрастание корпуса, износ механизмов и систем судна. Меняются и оптимальные параметры экономичного хода. Для оценки этих параметров экономичного хода можно использовать данные, полученные в течение эксплуатации судна.

В общем виде целевая функция оптимального режима движения:

$$\int_0^s G_v s \frac{ds}{v_s} \rightarrow \min,$$

где  $G_v$  – это часовой расход топлива,  $s$  – расстояние.

Кроме этого, необходимо учесть ограничения по максимальной и минимальной скоростям, а также времени движения.

Общий расход топлива складывается из расходов на: главный двигатель; вспомогательные дизель-генераторы; котлы.

Величина каждого из перечисленных выше расходов разная, соответственно вклад каждого различный для разных судов. Доля второй группы для грузовых судов может быть мала. Для танкеров заметную долю может составить расход топлива при выгрузке нефтепродукта. Доля, которую составляет последняя группа для танкеров, оборудованных системой подогрева, может быть весьма значительной.

Расход цилиндрического масла – это еще одна довольно значимая графа расходов, которая тоже может быть различной в зависимости, как от мощности, так и от качества используемого топлива. В качестве примера в табл. 1 приведены данные по расходу топлива на судне "Glovis Mermaid" во время перехода из порта Сингапур в порт Кандла (Индия). Из приведенных данных видно, что 19.07.2013 резко упал расход цилиндрического масла: примерно на 23 %. Это связано с тем, что был произведен переход на топливо нового бункера с содержанием серы 2,6 % (старое топливо содержало 3,3 % серы). При этом были изменены настройки Альфа Лубрикатора (АСС фактор 0,34), что привело в свою очередь к уменьшению суточного расхода масла (так как его расход напрямую зависит от качества топлива). Однако, даже такой уменьшенный расход масла является высоким для данного типа

двигателя. Это связано с применением универсального масла "Talusia Universal", которое может быть использовано как для высоко, так и для низко сернистых сортов топлива. Таким образом, еще одно направление снижения расходов (экономии) – правильный выбор типа цилиндрического масла и его дозировки.

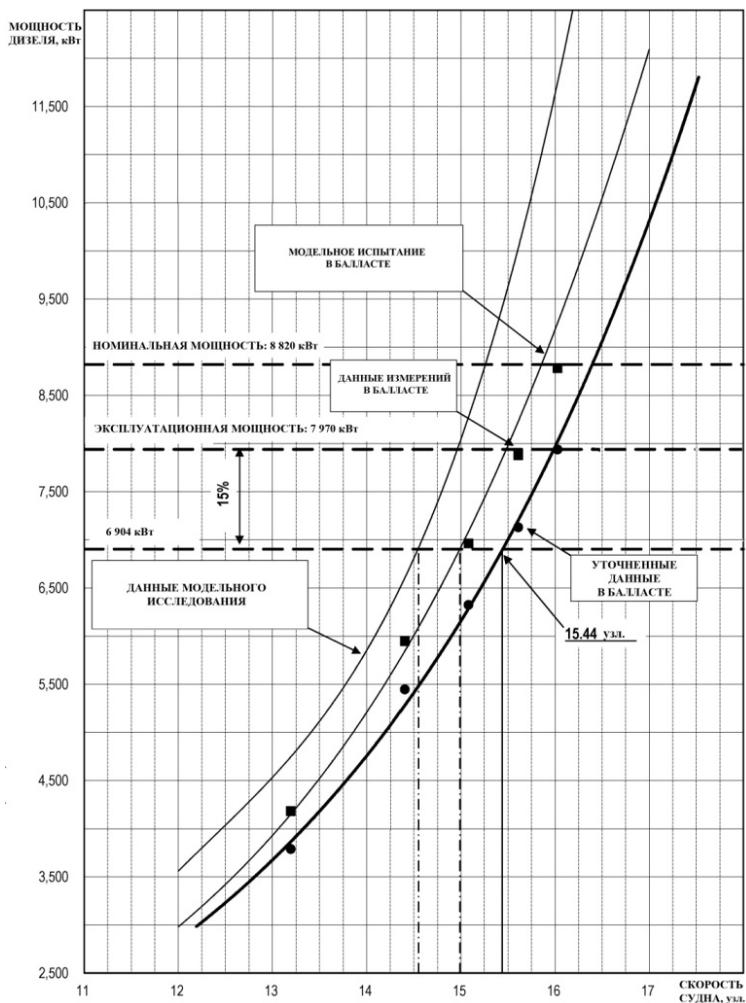


Рис. 2. Скоростные характеристики балкера "Glovis Marmaid"

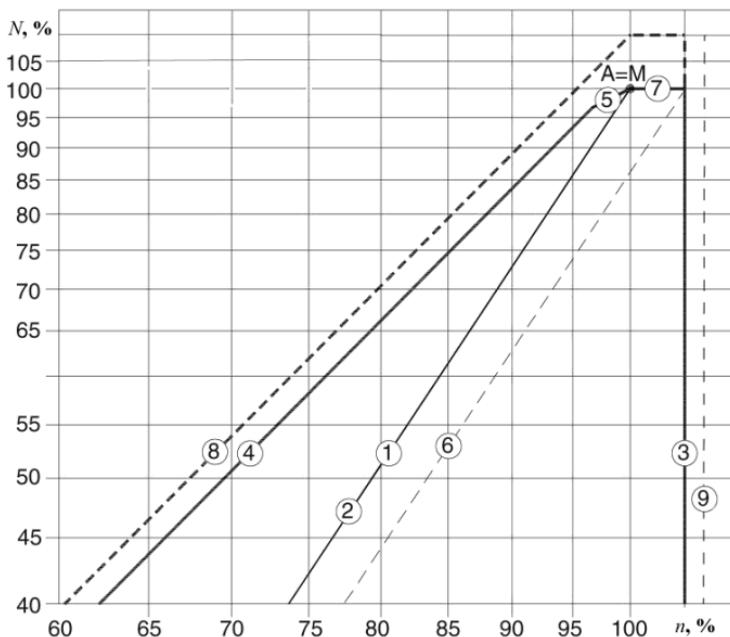


Рис. 3. Ограничительные характеристики балкера "Glovis Marmaid": 1 и 2 – винтовая характеристика тяжелого винта; 3 – ограничение по частоте вращения; 4 – ограничение по вращающему моменту; 5 – ограничение по среднему эффективному давлению; 6 – винтовая характеристика легкого винта в диапазоне облегчения 3,0 ... 7,0 %; 7 – ограничение по мощности для длительной работы; 8 – предел перегрузки; 9 – ограничение скорости

Последовательность выбора экономической скорости хода следующая.

Первое – построение универсальной характеристики двигателя по часовому расходу топлива (кг/ч)

$$G = f(n, N_e),$$

где  $n$  – частота вращения вала двигателя,  $c^{-1}$ ,  $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт.

Второе – построение ограничительных характеристик. Как правило, это ограничительная характеристика по моменту (по среднему эффективному давлению) и по номинальной частоте вращения:

$$p_e \leq p_{e \text{ ном}} ; n \leq n_{\text{ном}},$$

где  $p_{e \text{ ном}}$  – номинальное среднее эффективное давление, кПа;  $n_{\text{ном}}$  – номинальная частота вращения вала,  $c^{-1}$ .

Таблица 1

Расход топлива судна "Glovix Mermaid", при переходе из порта в Сингапур в порт Кандла (Индия)

Дата	Наработка ГД, час	Расход топлива на ГД, т/сутки	Расход топлива бойлера, т/сутки	Расход топлива дизель - генераторов, т/сутки	Общий расход топлива, т/сутки	Расход цилиндрового масла, л/сутки
15.07.2013	2,9	1,4	0,0	0,3	1,7	10,0
16.07.2013	13,0	10,7	0,0	1,2	11,9	123
17.07.2013	24,0	20,4	0,0	2,2	22,6	123
18.07.2013	24,0	20,8	0,0	2,2	23,0	130
19.07.2013	25,0	21,7	0,0	2,3	24,0	98
20.07.2013	24,0	20,8	0,0	2,2	23,0	97
21.07.2013	25,0	21,4	0,0	2,4	23,8	96
22.07.2013	24,0	20,8	0,0	2,2	23,0	97
23.07.2013	24,5	21,7	0,0	2,4	24,1	97
24.07.2013	24,0	20,8	0,0	2,2	23,0	100
25.07.2013	24,0	21,1	0,0	2,2	23,3	96
26.07.2013	24,0	21,2	0,0	2,2	23,4	97
27.07.2013	24,0	20,7	0,0	2,2	22,9	95
28.07.2013	20,5	15,9	0,0	1,8	17,7	93
28.07.2013	3,5	1,1	0,0	0,3	1,4	4
Всего	306,4	260,5	0,0	28,6	288,8	1363,1

В настоящее время в течение любого морского перехода ведется ежедневный контроль / учет параметров работы энергетической установки и движения судна. При этом данные фиксируются зачастую в нескольких формах подотчетной документации (для чартера, судовладельца, компании, осуществляющей менеджмент судна).

Зависимость расхода топлива от мощности по результатам ходовых испытаний, приведена на рис. 4, и позволяет определить мощность, при которой обеспечивается минимальный удельный расход топлива (примерно 80 %). На практике значение мощности оказалось ниже заявленного и составило примерно 74 – 75 %. Это, прежде всего, связано с тем, что характеристика, приведенная по данным приемно-сдаточных испытаний, построена практически в идеальных (заводских) условиях.

Для построения зависимости удельного расхода топлива от мощности ГД можно провести индицирование ГД при различных мощностях на валу двигателя. Учитывая современное развитие электронных систем для индицирования (PMI), этот процесс может быть осуществлен очень быстро и с довольно большой степенью точности.

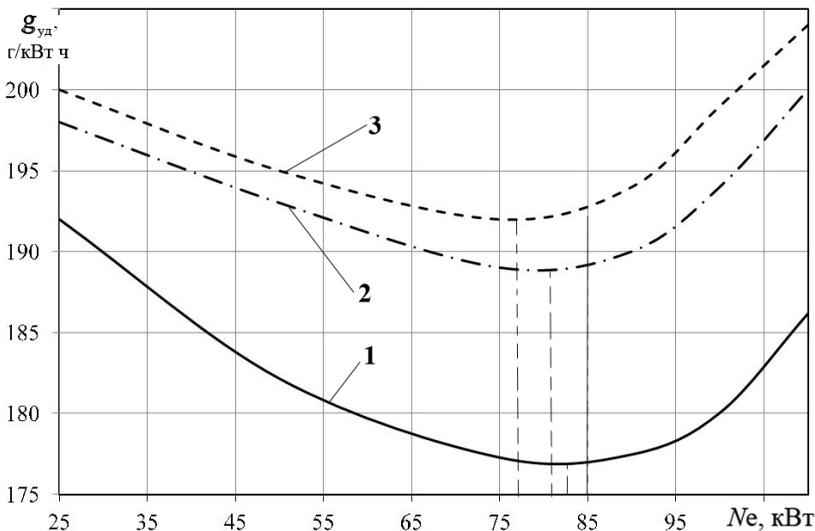


Рис. 4. Удельный расход топлива от мощности развиваемой ГД: 1 – на приемно-сдаточных испытаниях; 2 – при эксплуатации судна в балласте; 3 – при эксплуатации судна в грузу

По полученным данным построены зависимости:

$$g_{удballast} = 6 \cdot 10^{-6} N_e^3 - 0,0074 N_e^2 + 0,067 N_e + 202 ;$$

$$g_{удload} = 9 \cdot 10^{-5} N_e^3 - 0,0123 N_e^2 + 0,3422 N_e + 196 ,$$

где  $g_{удballast}$  – удельный расход в балласте, г/кВт·ч;  $g_{удload}$  – удельный расход в грузу.

Полученные минимумы удельных расходов отличаются друг от друга. При увеличении сопротивления судна, величина экономичной эксплуатационной мощности уменьшается.

Таким образом, выполнен анализ составляющих расхода топлива и масла для дальнейшей их оптимизации. Предложено проводить оценку и выбор значения экономичной скорости (мощности) с учетом характеристик главного двигателя по имеющимся данным морских переходов. Анализ изменения суточного расхода при эксплуатации судна со скорректированными значениями эконом скорости (мощности) позволяет сэкономить до 4 % топлива, при этом скорость судна изменяется в пределах 1 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Платов, А.Ю. Методы оперативного планирования работы речного грузового флота на основе оптимального нормирования ходовой операции: монография / А.Ю. Платов. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО "ВГАВТ", 2009. – 155 с.
2. Капитонов, И.В. Режимы работы судовых дизелей на экономичном ходу / И.В. Капитонов. – М.: В/О "Мортехинформреклама", 1985. – 48 с.
3. Бейлин, М. К. Экономический анализ при проектировании судов внутреннего плавания [Текст] / М. К. Бейлин, А. М. Дмитриев. – Л.: Судостроение, 1979. – 480 с.
4. Бронников, А. В. Морские транспортные суда. Основы проектирования / А. В. Бронников. – Л.: Судостроение, 1984. – 352 с.
5. Астахов В. Е., Техничко-экономические обоснования проектирования промысловых судов / В. Е. Астахов, В. С. Горобец. – Л.: Судостроение, 1982. – 247 с.
6. Holtrop, J. An Approximate Power Prediction Method / J. Holtrop, G.G.J. Mennen // International Shipbuilding Progress. - 1982. - Vol. 29. – P. 166 – 170.