



УДК 656.62: 629.122: 504.3.054:621.436:629.5.03

Платов Александр Юрьевич, доцент, д.т.н., зав. каф. Прикладной информатики и статистики ФГБОУ ВО «ННГАСУ»

Васильева Оксана Юрьевна, ст. преподаватель каф. Прикладной информатики и статистики ФГБОУ ВО «ННГАСУ»

ФГБОУ ВО «Нижегородский архитектурно-строительный университет»

603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д.65

ПРОБЛЕМА РАСЧЁТА РАСХОДА ТОПЛИВА ГЛАВНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ ГРУЗОВЫХ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО И СМЕШАННОГО ПЛАВАНИЯ

Ключевые слова: речные суда, судовые дизели, расход топлива главными двигателями, эксплуатационно-экономическое обоснование судов, универсальные характеристики двигателя, аппроксимация универсальных характеристик.

Аннотация. В статье предлагается метод аппроксимации универсальных характеристик судового дизельного двигателя для прогнозирования эксплуатационных затрат в части расхода топлива главными двигателями при эксплуатационно-техническом обосновании новых судов. Особенность данного метода состоит в том, что для его работы требуется минимальный набор параметров двигателя (эффективная мощность и часовой расход), поскольку на этапе обоснования конкретный двигатель нового судна неизвестен. Показано, что обычные способы расчёта расхода топлива, основанные на постоянстве часового расхода топлива или на постоянстве удельного расхода, обладают очень большой погрешностью. Приводится пример расчёта универсальных характеристик конкретного дизеля.

Прогнозирование эксплуатационных затрат при работе судов внутреннего и смешанного плавания является, очевидно, необходимой задачей при определении экономической эффективности проектируемых судов. Значительную – более половины – долю в эксплуатационных затратах составляет расход топлива главными двигателями (ГД). Однако эта чрезвычайно важная составляющая в методиках, используемых при проектировании судов, рассчитывается, как правило, очень упрощённо.

Имеющиеся немногочисленные способы прогнозирования расхода топлива можно разделить на две группы. В первой группе закладывается постоянство часового расхода топлива G . В результате получаются вариации [1,2] формулы:

$$B \sim G t_x \quad (1)$$

где B – расход топлива, t_x – время хода судна.

Вторая группа определяется постоянством удельного расхода топлива $g_e = G/N_e$, где N_e – эффективная мощность главных двигателей. В результате получаются вариации кубической аппроксимации часового расхода топлива [3, 4, 5], что видоизменяет формулу (1) на следующую:

$$B \sim g_e / t_x^2 \quad (2)$$

Оба этих способа не могут полноценно учитывать ни влияние условий плавания, ни реальное поведение пропульсивного комплекса. Как показано в [6], погрешность

вычисления расхода топлива может превышать 20%, что значительно снижает достоверность экономического обоснования нового судна.

Решение задачи об определении расхода топлива должна решаться через создание модели пропульсивного комплекса, основанного на моделях, описывающих собственные характеристики компонентов этого комплекса: корпуса, движителей и двигателя.

Приемлемые для практики модели двух первых компонентов развиваются с конца 50-х годов. Они хорошо известны по курсам ходкости судов. Что же касается моделирования работы ГД в составе пропульсивного комплекса, то эта тема разработана гораздо скромнее, так как основные усилия по направлению такого моделирования прилагались в сфере проектирования ДВС.

Если по [7] разделить все модели ДВС на аналитические и эмпирические, то нетрудно видеть, что для задач обоснования судов аналитические модели не подходят, так как требуют знания ряда технических параметров ГД. Обычно на начальных стадиях проектирования может быть определена мощность и, возможно, частота вращения гребных винтов (и, соответственно ГД).

Эмпирические модели представляют собой аппроксимации опытных значений различных показателей работы ГД, что тоже малопригодно для задач обоснования. Однако некоторые аппроксимации можно использовать, чтобы попытаться получить приемлемые результаты по вычислению расхода топлива при минимально возможном наборе исходных данных.

Из возможных для применения аппроксимаций следует сразу же отбросить формально составленные полиномы, так как в таких полиномах точность аппроксимации достигается исключительно за счёт количества коэффициентов, а не за счёт моделирования «физики» рабочих процессов ДВС.

Из вариантов аппроксимаций, учитывающих «физику», можно выделить работы [8], [9] и [10]. Однако в [8] аппроксимация слишком сложна. Две последние работы используют показательную аппроксимацию, которую в общем виде можно записать следующим образом:

$$\ln G = \alpha_0 + \alpha_1 n + \alpha_2 p_e^k + \alpha_{12} p_e^k n, \quad (3)$$

где p_e - среднее эффективное давление в цилиндре, n – частота вращения.

Если ограничиться двумя членами ряда, то можно построить аппроксимацию, которая не требует знания номинальных значений частоты вращения и среднего эффективного давления. Достаточно будет только знать номинальную мощность ГД и номинальный часовой расход, причём последний можно также определить, приняв некоторое типичное значение к.п.д. судового дизельного двигателя.

Для построения требуемой аппроксимации нужно перейти к относительным значениям частоты и давления:

$$v = n/n_{\text{ном}}, \pi = p_e/p_{e\text{ном}}, \quad (4)$$

где $n_{\text{ном}}$ – номинальная частота вращения, $p_{e\text{ном}}$ – номинальное среднее эффективное давление.

Искомая аппроксимация получает вид:

$$\ln G = \alpha_0 + \alpha_1 v + \alpha_2 \pi^k. \quad (5)$$

Для определения неизвестных коэффициентов используются три уравнения. Первое уравнение определяет часовой расход топлива на номинальном режиме:

$$G(1,1) = G_{\text{ном}}. \quad (6)$$

где $G_{\text{ном}}$ – номинальный часовой расход топлива/

Два других уравнения получаются из условия, что минимальное значение g_e достигается в точке $(v_{\text{min}}, \pi_{\text{min}})$. Необходимые условия экстремума выражаются как равенство нулю двух частных производных функции g_e в указанной точке.

Для всех двигателей значения $(v_{\text{min}}, \pi_{\text{min}})$ задаются, например, равными 0,9, так как для многих дизелей минимум удельного часового расхода приходится на такие

значения. Кроме того, для всех двигателей принимается значение показателя степени k . Определение этих трёх величин требует дополнительного изучения.

В качестве примера можно привести расчёт универсальных характеристик для двигателя 6VDS 29/24 AL мощностью 1320 кВт и частотой 1000 об/мин.

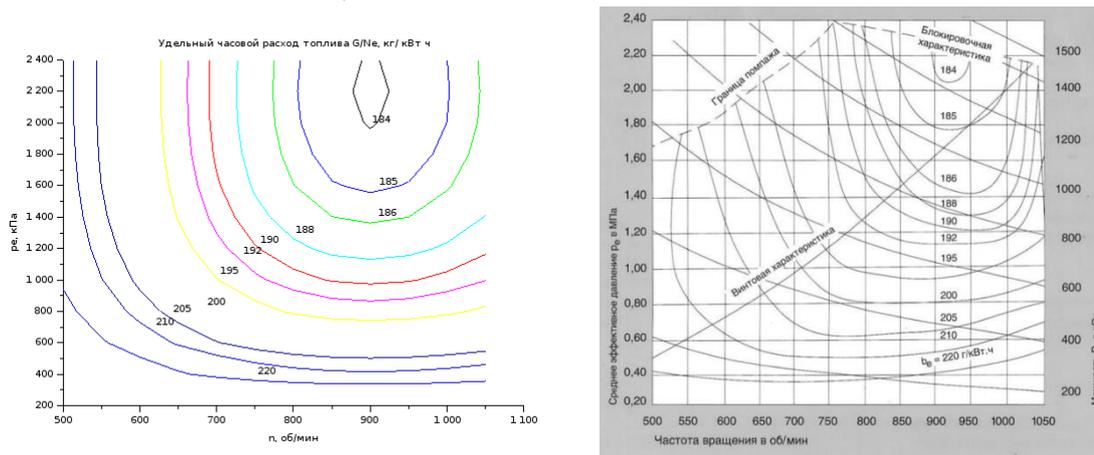


Рисунок. Универсальные характеристики дизеля 6VDS 29/24 AL.

Слева: аппроксимация, справа – стендовые характеристики

Как можно видеть из рис., универсальные характеристики описываются довольно близко к опытным. Погрешность велика на малых значения частоты или давления, но это для решения задач обоснования неважно, так как при таком обосновании скорости проектируемых судов закладываются близкими к максимальным.

Для использования описанной модели в задаче обоснования судов удобнее вместо параметра p_e использовать момент на валу ГД, так как именно момент определяется при моделировании работы движителей. Изменения в описанной модели при этом будут сугубо формальные.

Таким образом, описанная модель, аппроксимирующая универсальные характеристики, удовлетворяет требованиям, возникающим при эксплуатационно-техническом обосновании, и позволяет значительно повысить точность прогнозирования эксплуатационных расходов проектируемого судна.

Список литературы:

- [1] Злобин Д.С. Совершенствование методов обоснования эксплуатационно-технических параметров судов «река-море» плавания: Дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19. – Н. Новгород, 2013. – 151 с.
- [2] Китаев М.В. Оптимизация характеристик транспортных судов с учетом технических, эксплуатационных и экономических случайных факторов на начальных стадиях проектирования: Дис. ... канд. техн. наук: 05.08.03. – Н. Новгород, 2013. – 170 с.
- [3] Ronen D. Effect of oil price on the optimal speed of ships. Journal of the Operational Research Society, 33 (11), 1982, pp. 1035–1040.
- [4] Barras B. Ship design and performance for masters and mates. Oxford: Elsevier, 2004.
- [5] Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A.: Ship Resistance and Propulsion Practical Estimation of Ship Propulsive Power. Cambridge University Press, 2011.
- [6] Платов А.Ю. Эксплуатационно-экономическое обоснование параметров речных судов на основе ИТ / А.Ю. Платов, О.Ю. Васильева // Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов, 2018. Секция XII. Управление транспортно-логистическими системами и безопасностью на транспорте. ВГУВТ, 2018.
- [7] Brace C. J. Transient Modeling of a Diesel Engine. PhD thesis, Bath, UK, 1996.
- [8] Goering, C.E. Engine Model for Mapping BSFC Contours / C. E. Goering, H. Cho // Mathl. Comput. Modelling, Vol. II, 1988, pp. 514-518.

[9] Ручкин Ю.Н. Эффективность эксплуатационных режимов судовых гидромеханических комплексов: Дис. ... док. техн. наук: 05.08.05. – Н. Новгород, 2000. – 335 с.

[10] Самыкин, Г.А. Исследование эксплуатационной экономичности главных двигателей речных теплоходов: дисс. канд. техн. наук: 05.08.05. – Н.Новгород, 1975. – 183 с.

PROBLEM OF CALCULATION OF FUEL CONSUMPTION BY MAIN ENGINES AT FEASIBILITY STUDY OF INLAND SHIP DESIGN

Alexander Y. Platov, Oksana Y. Vasileva

Key words: inland ships, marine diesels, fuel consumption of marine engines, feasibility study of ship design, engine performance map, approximation of engine performance map.

The article proposes a method of approximation of engine performance map for predicting operating costs in terms of fuel consumption by main engines during feasibility study of ship design. The peculiarity of this method is that its work requires a minimum set of engine parameters (effective power and hourly consumption), since at the feasibility study the specific engine of the new ship is unknown. It is shown that the usual methods of calculating fuel consumption, based on the constancy of hourly fuel consumption or on the constancy of specific fuel consumption, have a very large error. An example of calculating the engine performance map of real diesel engine.