

ОПРЕДЕЛЯНЕ СПЕЦИФИЧНИЯ РАЗХОД НА ГОРИВО ЗА ДВИГАТЕЛИ MAN DIESEL ТИП ”МС-С” И ”МЕ” ПРИ ОГРАНИЧЕН ДИАПАЗОН НА НАТОВАРВАНЕТО

Владимир Йорданов

Abstract: At the stage of ship initial design, the main engine specific fuel oil consumption (SFOC) usually can be estimated by means of graphical dependencies. This work considers analytical method for determination of SFOC for MAN Engines type “MC-C” and “ME”, which is based on various analytical dependencies, worked out in the paper. These dependencies allow to estimate the different meanings of SFOC at various engine loadings and accordingly to determine the optimal meanings of SFOC.

Key words: specific fuel oil consumption, approximating dependencies, engine loadings.

1. Въведение

Разходите за гориво съставляват повече от 50% от експлоатационните разходи на кораба. За повишаване ефективността на експлоатация на кораба се използват различни методи, като един от тях е намаляване разходите за гориво на кораба чрез подбор на главен двигател (ГД) с минимален специфичен разход на гориво (СРГ) - specific fuel oil consumption (SFOC) при съответното натоварване. На началните етапи на проектиране енергетичните запаси от гориво за кораби с ГД MAN Diesel се определят на базата на съответните графични зависимости на СРГ от натоварването на ГД осигуряващ проектната скорост на кораба.

Определянето на СРГ по графични зависимости е трудоемък процес свързан с разход на време. За облекчаване и ускоряване на този процес в настоящата работа са разработени аналитични зависимости за определяне на СРГ на ГД MAN Diesel.

2. Определяне на специфичния разход на гориво (СРГ) за двигатели MAN Diesel по графични зависимости

Специфичният разход на гориво е една от основните характеристики на двигателите и се дава от фирмата MAN Diesel с толеранс от 5% и въз основа на използването на гориво с калоричност 42700 kJ/kg (~10200 kcal/kg) при условия на околната среда съгласно ISO 3046-1:2002(E) и ISO 15550:2002(E):

- температура на обкръжаващия въздух 25 °C;
- атмосферно налягане 1000 mbar;

- температура на охлаждащата вода за въздухоохладителя 25 °C.

Графичният метод за определяне на СРГ за двигатели MAN Diesel е илюстриран на фиг.1 за ГД тип S60ME-C8 (за винт с фиксирана крачка и високоефективен турбокомпресор) [1].

Контрактната точка М (съвпадаща с оптимизационната точка О) е подбрана в мощностното поле на ГД (diagram 2) при мощност 85% и честота на въртене 90% относно параметрите в т.Л1. През т.М е прекарана пунктирна линия успоредна на линията L1÷L3 до пресичането и с трите наклонени линии от diagram 1, съответстващи последователно на 100%, 70% и 50% натоварване на ГД.

Точките на пресичане определят редуцията $\Delta SFOC$ на СРГ при съответното натоварване на ГД: $\Delta SFOC_{100}$, $\Delta SFOC_{70}$ и $\Delta SFOC_{50}$. За тези три натоварвания на ГД се определя и СРГ (SFOC) по формула 1:

$$SFOC = SFOC_{L1} + \Delta SFOC \quad (1)$$

където :

$SFOC_{L1}$ – е СРГ в g/(kW.h) на ГД при номиналната максимална продължителна мощност MCR (за точка L1 от фиг.1-diagram2 при 100% натоварване на ГД);

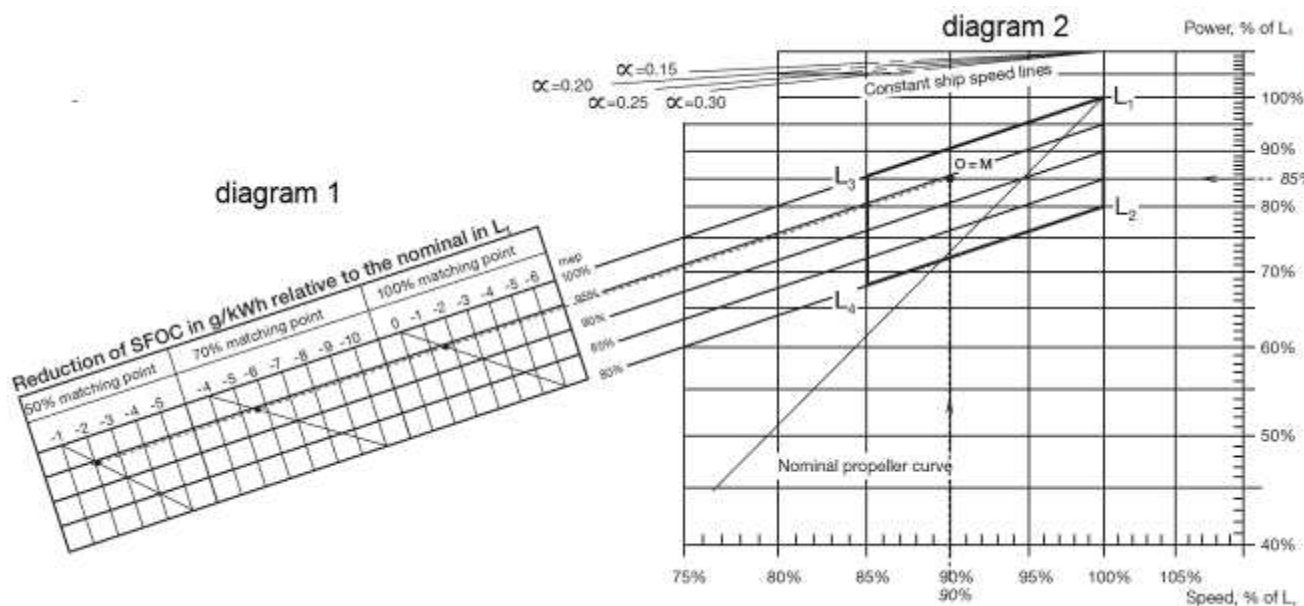
$SFOC_{L1} = 171$ g/(kW.h) за ГД S60ME-C8;

$\Delta SFOC$ – е редуция на СРГ в зависимост от натоварването на ГД (фиг.1- diagram1).

На базата на получените стойности за $\Delta SFOC$ и SFOC (таблица 1) се построява съответната графична зависимост за тяхното

изменение в зависимость от натоварването на ГД MAN Diesel тип S60ME-C8.

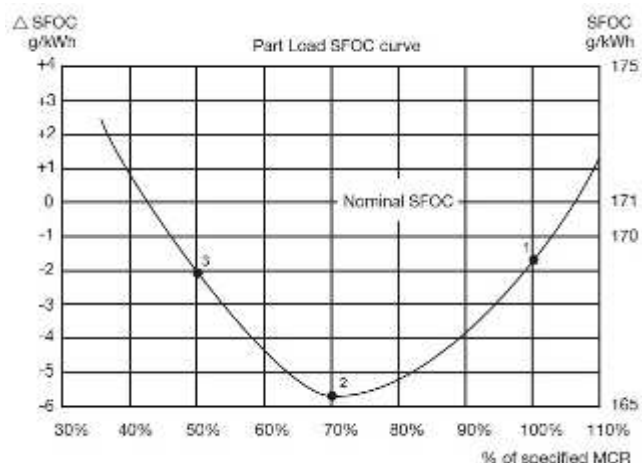
Построената въз основа на данните от таблица 1 графична зависимост на $\Delta SFOC$ и $SFOC$ е показана на фиг.2.



Фиг. 1. Графично определяне на $\Delta SFOC$ за ГД MAN Diesel тип S60ME-C8.

Power in	Part load points	$\Delta SFOC$ g/kWh	SFOC g/kWh
100% O	1 100% M	-1.7	169.3
70% O	2 70% M	-5.7	165.3
50% O	3 50% M	-2.1	168.9

Таблица 1. Стойности на $\Delta SFOC$ и $SFOC$ при три варианта на натоварване на MAN Diesel тип S60ME-C8 [1]



Фиг. 2. Зависимост на $\Delta SFOC$ и $SFOC$ от натоварването на ГД MAN Diesel тип S60ME-C8

3. Аналитично определяне на специфичния разход на гориво за двигатели MAN Diesel

Определянето на СРГ по илюстрирания графичен метод е трудоемък процес, особено при определянето на СРГ за различни типове ГД например при подбора на ГД за машинно отделение измежду много варианти двигатели.

За ускоряване на този процес за определяне на СРГ, в настоящата работа са разработени различни аналитични зависимости целящи облекчаване на описаната процедура. Разработените аналитичните зависимости са получени на базата на апроксимация на графичните зависимости от фиг.1, отнасящи се за двигатели MAN Diesel тип ”MC-C” и ”ME” с ограничен диапазон на натоварването [2]: по честота на въртене $n=85\div 100\%$ и по мощност $P=80\div 100\%$.

По-старите ГД MAN B&W имат по-малък брой видове мощностни полета [2] в сравнение със съвременните ГД MAN Diesel, които имат повече видове мощностни полета със следните диапазони [3] :

- ❖ с широк диапазон на натоварване на ГД:
 - $n = 75\div 100\% \quad P = 80\div 100\%$;
 - $n = 80\div 100\% \quad P = 80\div 100\%$;
- ❖ с ограничен диапазон на натоварване на ГД:
 - $n = 85\div 100\% \quad P = 80\div 100\%$;
 - $n = 84\div 100\% \quad P = 80\div 100\%$;

❖ с тесен диапазон на натоварване на ГД:

$$n = 90 \div 100\% \quad P = 80 \div 100\% ,$$

$$n = 93 \div 100\% \quad P = 80 \div 100\% .$$

От указаните по-горе видове мощностни полета на ГД MAN Diesel са подбрани като обект на изследване двигателите с ограничен диапазон на натоварването, тъй като те включват най-много типове двигатели. Обработени са данните за общо 20 двигателя MAN Diesel тип ”MC-C” и ”ME”, като за по-точното измерване на стойностите на параметрите n и P са използвани средствата на AutoCad. Апроксимирането на графичните зависимости за СРГ на 20 двигателя MAN Diesel е извършено въз основа на метода на най-малките квадрати [4] и средствата на MathCAD и EXCEL.

Получените аналитични зависимости за определяне на $\Delta SFOC$ на посочените ГД (за винт с фиксирана крачка) са групирани в 5 групи в зависимост от вида на diagram 1 и са следните:

1)1 група - за двигатели S50ME-B8, S50MC-C8, S60ME-B8, S60MC-C8, S70MC-C8, L60MC-C8

diagram 1 - 1 група



$$\Delta SFOC_{50} = d_{11} + m_{11} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (2)$$

$$\Delta SFOC_{80} = d_{12} + m_{12} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (3)$$

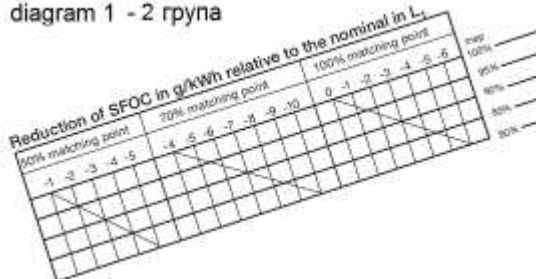
$$\Delta SFOC_{100} = d_{13} + m_{13} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (4)$$

, където:

- n - честота на въртене, %;
- P – мощност, %;
- a = - 0,99200460933;
- b = 0,99518253094;
- c = 4,58945739482;
- d - коефициент от таблица 2;
- m - коефициент от таблица 3.

2)2 група - за двигатели S50ME-C8, S60ME-C8, S65ME-C8, S70ME-C8, L60ME-C8, K80ME-C6

diagram 1 - 2 група



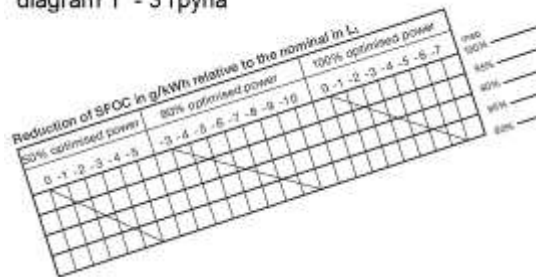
$$\Delta SFOC_{50} = d_{21} + m_{21} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (5)$$

$$\Delta SFOC_{70} = d_{22} + m_{22} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (6)$$

$$\Delta SFOC_{100} = d_{23} + m_{23} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (7)$$

3)3 група - за двигатели S80MC-C8, K80MC-C6, S90MC-C8, K90MC-C6

diagram 1 - 3 група



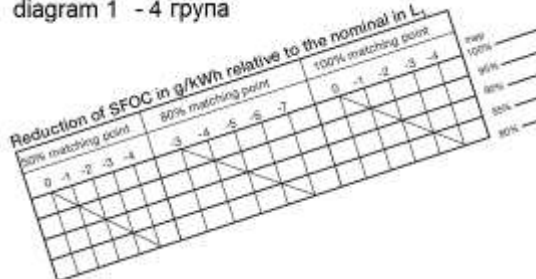
$$\Delta SFOC_{50} = d_{31} + m_{31} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (8)$$

$$\Delta SFOC_{80} = d_{32} + m_{32} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (9)$$

$$\Delta SFOC_{100} = d_{33} + m_{33} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (10)$$

4)4 група - за двигатели S35ME-B9, S40ME-B9, S46ME-B8

diagram 1 - 4 група



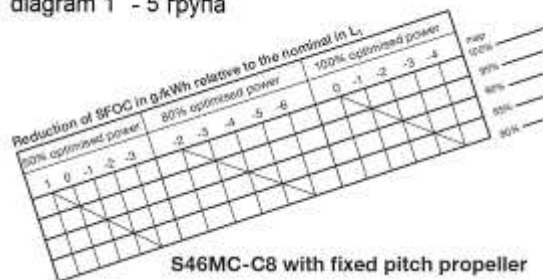
$$\Delta SFOC_{50} = d_{41} + m_{41} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (11)$$

$$\Delta SFOC_{80} = d_{42} + m_{42} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (12)$$

$$\Delta SFOC_{100} = d_{43} + m_{43} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (13)$$

5)5 група - за двигател S46MC-C8

diagram 1 - 5 група



$$\Delta SFOC_{50} = d_{51} + m_{41} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (14)$$

$$\Delta SFOC_{80} = d_{52} + m_{42} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (15)$$

$$\Delta SFOC_{100} = d_{53} + m_{43} \cdot e^{[a \cdot \ln(n) + b \cdot \ln(P) + c]} \quad (16)$$

Стойностите на коефициентите **d** и **m** са приведени в таблиците 2 и 3.

n	d _{1,n}	d _{2,n}	d _{3,n}
1	-20	-33	-30
2	-21	-34	-30
3	-25	-38	-35
4	-20	-23	-20
5	-19	-22	-20

Таблица 2. Стойности на коефициентите **d** от апроксимиращите формули (2) ÷ (16)

n	m _{1,n}	m _{2,n}	m _{3,n}
1	0,2	0,3	0,3
2	0,2	0,3	0,3
3	0,25	0,35	0,35
4	0,2	0,2	0,2
5	0,2	0,2	0,2

Таблица 3. Стойности на коефициентите **m** от апроксимиращите формули (2) ÷ (16)

На основата на разработените аналитични зависимости (2)÷(16) за всеки конкретен ГД от разгледаните по горе 20 типа двигатели MAN Diesel може аналитично да се определи СРГ за съответното натоварване на ГД. По известни параметри на натоварването

(честота на въртене – n,% и мощност - P,%) се определят три стойности на ΔSFOC по тези формули от (2) до (16), които се отнасят за ГД от съответната група двигатели. По формула (1) се определят и съответните три стойности на SFOC и се построява полиномиална крива от втори ред през трите точки чрез средствата на EXCEL или MathCAD. Получената крива описва зависимостта на ΔSFOC и SFOC от натоварването на ГД. Стойността на СРГ в точка М (SFOC_M), съвпадаща с оптимизационната точка О се определя по формула (17):

$$SFOC_M = SFOC_{L1} + \Delta SFOC_{100} \quad (17)$$

където :

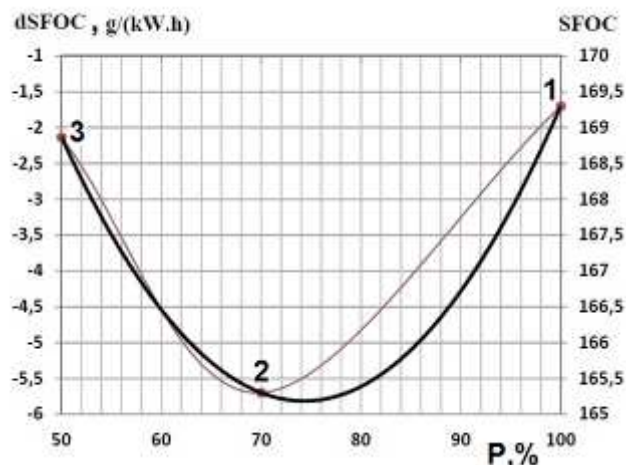
SFOC_{L1} – е СРГ в g/(kW.h) на ГД в точка L1;

ΔSFOC₁₀₀ – е редукция на СРГ в g/(kW.h) при 100% натоварване на ГД.

На основата на данните за примера от част 2 за ГД MAN Diesel тип S60ME-C8 (за винт с фиксирана крачка и високоефективен турбокомпресор) в таблица 4 и на фиг.3 са показани резултатите от аналитичното определяне на ΔSFOC.

Part load points	dSFOC	SFOC
1 100%M	-1,69887	169,30113
2 70%M	-5,69887	165,30113
3 50%M	-2,13258	168,86742

Таблица 4. Аналитично определени стойности на ΔSFOC и SFOC за MAN Diesel тип S60ME-C8



Фиг. 3. Аналитично определяне на зависимостта на ΔSFOC и SFOC от натоварването на MAN Diesel S60ME-C8

Средно-квадратичното отклонение на аналитично определените по апроксимиращите формули стойности на $\Delta SFOC$ и $SFOC$ от съответните им стойности съгласно примерните данни на ГД MAN Diesel съставлява $\sigma = 0,0188342$.

4. Изводи и заключение

Разработените в доклада аналитични зависимости позволяват да се определи побързо (в сравнение с графичния метод) и с достатъчна точност специфичния разход на гориво за главни двигатели MAN Diesel тип ”MC-C” и ”ME” с ограничен диапазон на натоварването и за винт с фиксирана крачка по известни входни параметри на натоварването (честота на въртене – $n, \%$ и мощност – $P, \%$).

Аналитичното определяне на СРГ също така спомага за облекчаване на процеса за определяне на експлоатационните разходи за гориво и на корабните запаси от гориво. Освен това се облекчава и процесът на подбор на ГД с оптимален СРГ за машинно отделение и определянето на конструктивния индекс за енергийна ефективност на кораба ($EEDI, g-CO_2/t.nm$) въведен от световната морска организация (ИМО) от 1 януари 2013 изискващ определяне на СРГ при 75% натоварване на ГД [5].

Литература

- [1] MAN B&W S60ME-C8-GI-TII. Project Guide. Electronically Controlled Two-stroke Engines, 1st Edition, April 2010.
- [2] Yordanov V.A. Estimation of the specific fuel oil consumption for ship's engines at various loadings. - Seventh International Conference of Marine Science and Technology Black Sea 2004 Proceedings, Varna, Bulgaria, Oct.7-9, 2004, Volume I, pp.233-238
- [3] <http://www.mandieselturbo.com/lowspeed>.
- [4] Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. Москва, Высшая школа, 1988.
- [5] Йорданов В.А. Подбор на главни корабни двигатели тип MAN Diesel за машинно отделение по комплексен критерий. Морски научен форум. Том 1. Корабна енергетика. ВВМУ "Н.Й.Вапцаров", Варна, 2013.

За контакти:

9010 Варна, ул. “Студентска” №1
Технически университет - Варна

ас., д-р инж. Владимир Йорданов,
e-mail: vyordanov@tu-varna.bg