ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ В ПАСАЖЕРСКИ КОРАБИ

Илиян Донев[1], Гинка Иванова[2], Валентин Гюров[3], Румен Киров[4]
[1]Технически университет-Варна, кат. „Корабостроене, корабни машини и механизми”, докторант
[2,3,4]Технически университет-Варна, кат. „Електроснабдяване и електрообзавеждане”

RESEARCH AND ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IN PASSENGER SHIPS

Iliyan Donev[1], Ginka Ivanova[2], Valentin Gyurov[3], Rumen Kirov[4]
[1]Technical University of Varna, Department of Shipbuilding and Marine Engineering, PhD Student
[2,3,4]Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment

Abstract
The paper presents an analysis of energy efficiency in passenger ship with 46000DWT and 1440 passengers. The main objective of the study is to present the effect of renovating deck lighting using LED sources, analyzed in the context of Lloyd's regulatory requirements and energy efficiency standards. The results represent the achieved savings in electricity and fuel, taking into account the environmental impact of reducing emissions and changing the EEDI Energy Efficiency Index

Keywords: marine electrical systems; energy efficiency in vessels; energy efficiency design index in ships

ВЪВЕДЕНИЕ

За оценка на енергийната ефективност в корабните електроенергийни системи (КЕЕС), в съответствие с нормативните изисквания на Lloyd, се използва обобщен показател на енер-гийна ефективност EEDI (energy efficiency design index) [1,2,3]. Много добри резултати за повишаване на енергийната ефективност в КЕЕС постига German Lloyd, като тенденциите за развитие с хоризонт 2025 год. EEDI се прилага за кораби, дефинирани в Регламент 2.23 и правило 20 от MARPOL, приложение VI от 400GT и по-голям: кораби за насипни товари; танкери; газови носители; носители на втечнен природен газ; контейнерни кораби; общо товар-ни кораби; хладилни товарни кораби; комбини-рани превозвачи; ро-ро товарни кораби; ро-ро товари и ро-ро пътнически кораби; круизни кораби с неконвенционално задвижване.

EEDI се изчислява с помощта на формулата:

$$AttEEDI = \left(MEE + AEE - ERIT\right)\cdot\frac{1}{TW} \quad (1)$$

където: MEE - емисии на CO_2 предизвикани от главните двигатели [tCO_2.DWT]; AEE - емисии на CO_2 предизвикани от спомагателните двигатели [tCO_2.DWT]; ERIT - намаляване на емисиите в резултат на иновативни технологии [tCO_2.DWT]; TW - транспортна работа [DWT];

Изчисляване на AEE - емисии от (спомагателните двигатели) се извършва с помощта на израза:

$$AEE = \left(P_{AE}\cdot C_{FAE}\cdot SFC_{AE}\right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)}\cdot P_{AEeff(i)}\right) \cdot C_{FAE}\cdot SFC_{AE}\right) \quad (2)$$

където: PAE[kW] - мощност на спомагателните двигатели, която е теоретично необходима за подсигуряване работата на главните двигатели и периферните съоръжения, технологичните съоръжения и битовия товар на кораба; CFAE [tCO_2/tFuel] - коефициент на екологично въздействие на горивата; SFCAE [tFuel/kWh] - специфична консумация на гориво от спомагателните двигатели.

Притеглената средна стойност на i на брой спомагателни машини се определя с формулата:

$$SFC_{AE} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} SFC_{AE(i)} \cdot MCR_{AE(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} MCR_{AE(i)}} \qquad (3)$$

Второто събираемо във формула (2) показва влиянието на валови (shaft) двигатели, иновативни енергоспестяващи технологии и реконструкции с цел намаляване на енергопотреблението:

$$\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}$$

където: f_i - корекционен коефициент отчитащ влиянието на специално проектирани енергоефективни елементи на кораба. Ако няма такива се приема стойност 1; $P_{PTI(i)}$ [kW] – 75% от номиналната механична мощност на “shaft” двигателите разделена на к.п.д. на генераторите:

$$P_{PTI(i)} = 0.75 \cdot \frac{P_{SMR(i)}}{\eta_{Gen}} \qquad (4)$$

където: $P_{SMR(i)}$[kW] - номинална механична мощност на “shaft” двигателите;

$$\eta_{Gen} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{AE}} \eta_{Gen(i)} \cdot P_{Gen(i)}}{\sum_{i=1}^{n_{AE}} P_{Gen(i)}} \qquad (5)$$

където: $P_{Gen(i)}$[kW] - изходна мощност на i-тия генератор; $f_{eff(i)}$ - коефициент отчитащ влиянието на всяка иновативна технология; $P_{AEeff(i)}$[kW] - намаляване на консумираната мощност от спомагателните двигатели поради наличието на иновативни технологии на главните двигатели. С отчитане влиянието на качеството на електрическата енергия [4,5,6], израз (2) се преобразува във вида:

$$AEC_{PQ} = \left((P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum \begin{matrix} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} - \\ - f_{eff(i)} \cdot P_{AEeffPQ} \end{matrix} \right) \cdot SFC_{AE} \right) \qquad (6)$$

Оценката на електроенергийната ефективност (EEDI) представена количествено чрез редукцията на първичните енергийни ресурси (гориво, t-Fuel) може да се определи чрез формулите (7), (8) и (9):

$$AEC_{BASIC} = (P_{AE} \cdot SFC_{AE}) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) \cdot SFC_{AE} \right) \qquad (7)$$

$$AEC_{PQ} = \left((P_{AE} + \Delta P_{LPQ}) \cdot SFC_{AE} \right) + \left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum \begin{matrix} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} - \\ - f_{eff(i)} \cdot P_{AEeffPQ} \end{matrix} \right) \cdot SFC_{AE} \right) \qquad (8)$$

$$FR = AEC_{BASIC} - AEC_{PQ} \qquad (9)$$

ИЗЛОЖЕНИЕ

За оценка на енергийната ефективност в сгради могат да се използват показателите, дефинирани от стандарт EN 15232 “Energy performance of buildings – Impact of Building Automation, Controls and Building Management”, който е приложим и за корабни закрити помещения

В съответствие с него, в зависимост от използваната система за автоматизация се определя съответния BAC клас на ефективност (Building Automation and Control) с буквено изражение от A до D. На база направената класификация по ефективност се избират BAC факторите на ефективност $f_{BAC,HC}$ и $f_{BAC,EL}$. Първият показва влиянието на системите за автоматизация върху подобряване на енергийната ефективност за използваната топлинна енергия, а вторият – за използваната ел. енергия. Когато основен енергиен носител е електроенергията, системите за автоматизация имат двустранен ефект – от една страна намаляване на общото потребление за ел. енергия на системите, от друга – подобряване на работата на ОВК системите, което води до допълнително намаляване разхода на ел. енергия. Количествената оценка се извършва по следната методика:

Отоплителни системи:

$$Q_{H,Tot,BAC} = (Q_{H,nd,B} + Q_{H,Sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} = $$

$$= Q_H \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} \quad (10)$$

където: $Q_{H,nd,B}$ и $Q_{H,Sys}$ - топлинна енергия за отопление и загуби на топлинната система; $f_{BAC,HC}$ - референтен BAC фактор.

Охлаждащи системи:

$$Q_{C,Tot,BAC} = (Q_{C,nd,B} + Q_{C,Sys}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} = $$

$$= Q_C \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} \quad (11)$$

Осветление:

$$W_{OCB,BAC} = W_{OCB} \frac{f_{BAC,EL}}{f_{BAC,EL,ref}} \quad (12)$$

В обобщение се получава израза:

$$EP_{ЕЛ,BAC} = \begin{bmatrix} (\frac{Q_H}{\eta_H} + \frac{Q_C}{\eta_C}) \cdot \frac{f_{BAC,HC}}{f_{BAC,HC,ref}} + \\ + (\frac{Q_{HW}}{\eta_{HW}} + W_{OCB}) \frac{f_{BAC,EL}}{f_{BAC,EL,ref}} \end{bmatrix} \cdot e_i \quad (13)$$

Изискванията към осветителни уредби, касаещи енергийната им ефективност, се дефинират от стандарт EN 15193 „Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting”. Като индикатор се използва специфичния годишен показател LENI (Lighting Energy Numeric Indicator).

$$LENI = W_{OCB,ЕЛ} = \frac{W_L + W_P}{A} \quad (14)$$

където: A - обща разгъната осветяема площ на помещенията [m^2]; W_L - енергия консумирана от осветителната уредба за осигуряване на необходимата светлинна среда [kWh/год.]; W_P - паразитна енергия свързана със загубите в акумулаторните елементи на аварийно и евакуационно осветление и stand-by функциите на системата за управление на осветлението [kWh/год.].

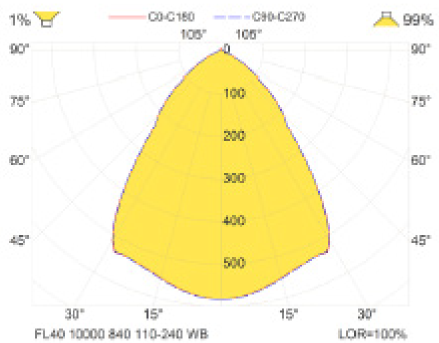
Изчислението им се извършва по следните формули:

$$W_L = \sum \left[(P_N.F_C) \begin{bmatrix} t_D.F_0.F_D + \\ + t_N.F_0 \end{bmatrix} \right] / 1000 \quad (15)$$

$$W_P = \sum \begin{bmatrix} P_{PC}.(t_Y - t_D - t_N) + \\ + P_{EM}.t_{EM} \end{bmatrix} / 1000 \quad (16)$$

където: P_N - инсталирана мощност [W]; P_{PC}- обща паразитна мощност [W]; P_{EM} - обща зарядна мощност евакуационни и аварийни осветители [W]; t_γ - годишен времеви период 8760 ч.; t_D - времеви период за работа на осветителите в светлата част от денонощието [ч]; t_N - времеви период за работа на осветителите в тъмната част от денонощието [ч]; t_{EM} - времеви период за заряд на аварийните и евакуационни осветители [ч]; F_C - фактор зависещ от използването на инсталираната мощност, F_C=(1+MF)/2, F_0 – фактор зависещ от присъствието (отсъствието) на хора, F_D – фактор зависещ от използването на естествено осветление.

Фиг. 1. *Специализиран LED прожектор за корабно приложение модел FL40, IP67*



Фиг. 2. *Светлоразпределение на осветител FL40*

За обекта на изследване - круизен кораб с параметри 46000DWT, 1440 пасажери е извършена реконструкция на палубно осветление и осветление общи части чрез въвеждане на специализирани LED осветители с висок клас степен на защита и корозионна устойчивост. На Фигура 1 е показан изглед на осветител от използваната гама осветители, а на Фигура 2 неговото светлоразпределение.

При реконструкцията са спазени нормативните изисквания, определени в IACS No132/2013 - International Association of Classification Society (Таблица 1).

Табл 1. *Нормени изисквания за осветеност в кораби*

Space	Illuminance Level in Lux
Machinery Spaces (General)	200
Unmanned Machinery spaces	200
Engine Room	300
Generator and Switchboard Room	300
Switchboard, transformer room	500
Main generator room/switch gear	200
Fan Room	200
HVAC room	200
Motor Room	300
Motor-Generator Room (Cargo Handling)	150
Pump Room, Fire pump room	200
Steering Gear Room	200
Windlass Rooms	200
Battery Room	200
Emergency Generator Room	200
Boiler Rooms	100
Bilge/Void Spaces	75
Muster/Embarkation Area	200
Cargo Handling (Weather Decks)	200
Lay Down Area	200
General Process and Utility area	200
Loading ramps/bays	200
Cargo Storage and Manoeuvring areas	350

В табл.2 са представени определените по описаната методика показатели.

Табл 2. *Изчислени показатели за обекта на изследване*

<table>
<tr><th colspan="3">ОВК и БТВ съоръжения</th><th>Осветление</th></tr>
<tr><td>Q_H [kWh/ m^2.год]</td><td>Q_C [kWh/ m^2.год]</td><td>Q_{HW} [kWh/ m^2.год]</td><td>$W_{ОСВ,ЕЛ}$ (LENI) [kWh/ m^2.год]</td></tr>
<tr><td>27,3</td><td>12,8</td><td>34,53</td><td rowspan="3">5,18</td></tr>
<tr><td colspan="3">$W_{ОВК,ЕЛ}$ [kWh/ m^2.год]</td></tr>
<tr><td colspan="3">67,59</td></tr>
</table>

Табл. 3. *Спецификация на реконструкцията*

Съществуващ осветител	Нов	Количество [брой]	Икономия [kW]
ЛЛНН 18W	LED 9W	2800	25,2
ЛЛНН 36W	LED 18W	3800	68,4
ЛЛНН 30W	LED 15W	950	14,25
ХЛ 1000W	LED 200W	50	40,0
ХЛ 500W	LED 200W	58	17,4

В табл. 3 са показани стойностите за редуциране на мощността на осветителната инсталация на кораба след реконструкцията.

От таблицата се вижда, че в резултат на реконструкцията мощността на осветителната уредба намалява с 165 kW. В съответствие с израза (9) е определено, че в следствие на прилагане на действия за подобряване на качеството на електрическата енергия, е постигната икономия на консумираното гориво в границите 13,5 [t./MWh.год.], т.е. регистрирано е съществено подобрение на показателите на EEDI.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата е представен иновативен комплексен подход за оценка на индекса за енергийна ефективност EEDI, като е разширен неговия функционален обхват с отчитане влиянието на качеството на електрическата енергия, оптимизиране режимите на ОВК системите, системите за охлаждане и осветление. По този начин по – пълно и адекватно се оценява разхода на първичния енергиен носител – корабното гориво.

REFERENCE

[1] Lloyds Register, Procedure for calculation and verification of the Energy Efficiency Design Index(EEDI), №38, 2013.

[2] Lloyds Register, Guidelines for Determination of the Energy Efficiency Design Index, 2013.

[3] Lloyds Register, Guidelines on Survey and Certification of the Energy

[4] Iliev, I., Vliuanieto na konsumatorite vurhy kachestwoto na elektricheskata energia s generirane na vishi harmonici, Sobrnik Energien forum, chast 2, str. 55, NTSEB.

[5]Yanizova, M., I. Iliev, Upravlenie na energiinata efektivnost, Sbornik Energien forum, chast 2, str. 5, NTSEB.