



**ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАЩАРОВ”
ФАКУЛТЕТ „ИНЖЕНЕРЕН”**



Катедра „Електротехника”

Елена Кателиева Кателиева

**ИЗСЛЕДВАНЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЕНЕРГИЙНАТА
ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на

ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

за придобиване на образователна и научна степен

„ДОКТОР”

Професионално направление, специалност:

**„Транспорт, корабоплаване и авиация”
„Електроснабдяване и електрообзавеждане (по отрасли)”**

Научен ръководител: доц. д-р инж. Николай Ангелов Ангелов

Варна, 2015г.

Докторантът работи в ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, факултет „Инженерен”, катедра „Електротехника”. Провежда практически занятия по дисциплините „Теоретична електротехника“, „Основи на електротехниката“, „Електротехника“.

Дисертационният труд е обсъден на заседание на разширен катедрен съвет на Катедра „Електротехника“ на.....

Дисертационният труд е насочен за защита от (факултет „Инженерен” при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”) в съответствие на чл.5, ал.1 от ЗРАС.

Автор: Елена Кателиева Кателиева

Заглавие: „ИЗСЛЕДВАНЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБА”

Тираж: 15 броя

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА

АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Промяната на климата и рационалното използване на природните ресурси е може би най-важният проблем, с който се сблъсква международната общност към настоящия момент. През последните няколко десетилетия в резултат на световното икономическо развитие нараства потреблението на енергия. Климатичните промени и непрекъснато намаляващите невъзобновяеми енергийни ресурси, налагат необходимостта от търсене на възможности за подобряване на енергийната ефективност (ЕЕ) и опазване на околната среда.

Транспортът играе важна роля в процеса на икономическо развитие на съвременното общество, а водния транспорт предоставя значителни възможности за повишаване на ефективността и подобряване на екологичните показатели. Корабоплаването е отговорно за 3% от световните емисии на CO₂, те са се повишили с над 90% от 1990г., като се очаква, ако не се вземат мерки да се увеличат три пъти до 2050г. Таксите, заплащани от сектора за разрешителни за емитиране на вредни газове също нарастват. Това налага, да се отделя все по-голямо внимание на парниковите газове получени от международното корабоплаване и на възможностите за повишаване на ефективността. За да се популяризира тази идея е необходимо да се запознаят всички заинтересовани лица – корабни оператори, собственици на компании и членовете на екипажа с понятията свързани с ЕЕ и възможностите за спестяване на енергия, за да ги прилагат в морската практика.



Фиг. 1.1 Подход за управление на ЕЕ на кораба

За да повишат ЕЕ на своите съдове морските компании е необходимо да изградят и прилагат определена енергийна политика. Съставянето на планове за управление на ЕЕ, изисква внимателен анализ на кораба като енергийна система, оценка на мерките за подобряване на ЕЕ включително инвестиции, срок на откупуване и др., определяне на приоритетите и преминаване към действие. Методиката за подобряване на ЕЕ, която се предлага в дисертацията

включва следните основни етапи: определяне на изходните данни на системата; подбор на най-подходящите мерки за повишаване на ефективността; изследване на избраните методи и изчисление на спестяванията; съставяне на план за приложение; мониторинг и количествена оценка на резултатите; сравнение на резултатите с целите и изводи за полученото подобрене.

ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИЯТА: Представяне на методика за комплексен анализ и подобряване на енергийните, екологични и икономически показатели на кораба. Прилагане на интегриран подход за получаване на икономия на енергия, намаляване на вредните емисии и повишаване на ЕЕ.

ЗАДАЧИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ

1. Анализ, оценка и класифициране на техническите мероприятия и експлоатационни дейности за повишаване на ЕЕ на кораба;
2. Изследване и класифициране на методиките за оценка на ЕЕ отнесено към различните корабни системи
3. Анализ и оценка на влиянието на различни фактори върху ЕЕ на различните корабни системи при различни условия на експлоатация
4. Създаване на подобрена методика за изследване на енергийните потоци в отделните подсистеми на кораба чрез прилагане на интегриран подход.
5. Разработване на обобщена методика за комплексна оценка, управление и повишаване на ЕЕ на кораба и инструкции за нейното приложение.

ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Обектът на изследване в дисертационния труд е енергийната ефективност на кораба представен като цялостна енергийна система.

ПРЕДМЕТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Анализ на процесите в енергийната система и възможностите за подобряване на тяхната ефективност.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Методите, използвани за решаване на поставените в дисертационния труд задачи са: теоретични анализ, експериментални изследвания и графична обработка на получените резултати. Прилага се интегриран подход, корабът се разглежда като комплексна енергийна система. Направена е количествена оценка на консумираното гориво и отделените вредни емисии. Използвани са данни от експериментални изследвания за анализ на режимите на работа на източниците на електроенергия и консуматорите. Графичната обработка е извършена с помощта на Excel (Sankey Helper 2.4), енергийните потоци са визуализирани чрез Sankey диаграми.

НАУЧНА НОВОСТ В ИЗСЛЕДВАНЕТО

1. Предлаганият дисертационен труд представлява най-пълното и единствено на български език изследване по темата.
2. Дисертационният труд може да се използва за създаване на пакет документи за провеждане на енергиен одит на различни морски съдове.

3. Предложена е обобщена методика за управление и повишаване на ЕЕ на кораба, която обединява всички подходящи мерки и действия за енергийно обследване и постигане на цялостна оптимизация на ЕЕ.
4. Създадена е класификация на мерките за управление и повишаване на ЕЕ за различните корабни системи.
5. Създадена е класификация на методиките за изследване и повишаване на ЕЕ на кораба в зависимост от факторите влияещи върху ефективността.
6. Предложен е алгоритъм за повишаване на ЕЕ на КЕЕС, който обединява всички дейности за изследване на системата и подходящи мерки за повишаване на ЕЕ. Представен е оптимизиран подход за повишаване на ЕЕ на двигателите в електрозадвижващите системи.
7. Предложена е методика за изследване на енергийните потоци на кораба, анализ и оценка на енергийната интензивност в отделните подсистеми.

АПРОБАЦИЯ

Основните части на дисертационния труд са представени на Юбилейната научна международна конференция 50 години катедра ЕТЕТ на ТУ-Варна в Годишник на Технически Университет – Варна, Том I, 2013; Международна конференция “Устойчиви партньорства в Дунавския и Черноморския регион“, 2013; в Научни трудове на ВВМУ „Н.Й. Вапцаров“, 2012; както и в научното списание „Journal of Marine Technology and Environment“, Vol. I, 2012, Vol. II, 2013.

ПУБЛИКАЦИИ

Резултатите от дисертационния труд са публикувани в 5 статии и доклади в научни сборници и списания.

ОБЕМ И СТРУКТУРА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Дисертационният труд включва въведение и четири глави с обем 167 стр., както и библиографска справка и приложения. Дисертацията съдържа 13 таблици, 74 фигури и са цитирани 167 литературни източника.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА I. ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ В МОРСКИЯ ТРАНСПОРТ

В първа глава се изясняват понятията свързани с енергийна ефективност. Задачите, които се поставят в тази глава за изясняване значението на понятието ЕЕ в морския сектор могат да се дефинират по следния начин:

1. Изследване на влиянието на морския транспорт върху изменението на климата;
2. Анализ и оценка на възможностите за технологично усъвършенстване на кораба, на експлоатационните дейности и комбинирани подходи за постигане на ЕЕ;

3. Създаване на база данни с технологични и оперативни мерки и подходи за повишаване на ЕЕ в морския транспорт и на кораба;

4. Класифициране на техническите и експлоатационни мерки за повишаване на ЕЕ.

Процесът на управление и повишаване на ЕЕ на кораба е свързан с рационално използване на технико – икономическите ресурси за постигане ефективни морски превози. Управлението на ЕЕ представлява сума от два подхода – приложение на организационни мерки и приложение на технически и експлоатационни мерки за подобряване на ефективността.

Управление и повишаване на ЕЕ на кораба

Организационни мерки	Технически и експлоатационни мерки
НОРМАТИВНИ ДОКУМЕНТИ	ПРОЕКТИРАНЕ – нови кораби РЕМОНТ – преоборудване, модернизация
ОБУЧЕНИЕ	ЕКСПЛОАТАЦИЯ - Нормални условия, на ход - Аварийни условия, на ход - В пристанище

Фиг.1.4

Организационните мерки включват нормативни документи и обучение. Въвеждат се промени в морското законодателство, свързани с намаление на вредните емисии отделяни от кораби, осъществява се организационно, информационно и методическо осигуряване при управление на енергийната консумация и повишаване на ЕЕ.

Областите за технологично подобрене на кораба са следните: усъвършенстване на конструкцията на кораба, задвижването, енергийната система и оборудването на кораба, използване на възобновяеми енергийни източници. Те могат също да бъдат разделени на два вида в зависимост от приложението си – мерки които се прилагат при проектиране (за нови кораби) и мерки при ремонт (за модернизация на съществуващи кораби). Класификация може да бъде направена и в зависимост от типа и експлоатационния режим на кораба. Ефективна експлоатация на кораба може да бъде постигната, чрез комбиниране на всички тези области и разглеждането им заедно – представяне на кораба като интегрирана система.

В дисертацията е създадена класификация на мерките за управление и повишаване на ЕЕ за различните корабни системи. (Таблица 1.5)

Таблица 1.5

Мерки за повишаване на енергийната ефективност	Тип кораб				
	Контейнер.	Танкер	Бълкер	„Ro-ro“	Круизен
КОНСТРУКЦИЯ НА КОРАБА					
Увеличаване размера на кораба	П	П	П	П	П
Оптимален избор на главните размери	П	П	П	П	П
Олекотена конструкция и оптимална форма на корпуса	П	П	П	П	П
Усъвършенстване на баластните системи	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е
Въздушни мехурчета около корпуса (air lubrication)	П	П	П	П	П
ЗАДВИЖВАНЕ (пропулсивна уредба)					
Подобрено взаимодействие пропелер - корпус	П	П	П	П	П
CRP задвижване (Противо-въртящи винтове)	П	П	П	П	П
Подобрено взаимодействие между витлото и руля	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
ВЕИ - енергията от вятъра и от морските вълни	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е
Електрически задвижващ модул (Azipod)					П
Усъвършенстване на винта на кораба	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
КОРАБНО ОБОРУДВАНЕ					
Дизел електрическо задвижване					П, Р
Оптимизация на главния двигател (ГД)	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
Електронно управляеми двигатели	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
Алтернативни видове гориво (LNG, водород, биодизел)	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
Слънчеви панели		П, Р	П, Р	П, Р	
Утилизация на отпадната енергия (WHR)	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
Валогенератор	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	
Енергоспестяващо осветление (LED)	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
Хибридни спомагателни генератори на мощност	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
Честотно регулиране на електрозадвижванията	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
ВЕЕД, Двигатели с ПМ и ВТСП	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р	П, Р
Автоматизация	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е	П, Р, Е
ОПЕРАЦИОННИ МЕРКИ					
Планиране на плаването	Е	Е	Е	Е	Е
Намаление на скоростта	Е	Е	Е	Е	Е
Периодична поддръжка на кораба	Р	Р	Р	Р	Р
Подобряване на пристанищните дейности	Е	Е	Е	Е	Е
Настройка на автопилота	Е	Е	Е	Е	Е
Използване на енергия от брега	Е	Е	Е	Е	Е

Р – Ремонт

Е – Експлоатация

П – Проектиране

Международната морска организация (ИМО) стимулира създаването и приложение на нови технологии и продукти, спомагащи повишаването на ЕЕ. Въвеждат се някои промени в международното и национално морско законодателство за да се популяризира пестенето на енергия и опазване на околната среда (Конвенцията MARPOL Annex VI, Chapter 4 - Regulations on energy efficiency for ships). Морският комитет за опазване на околната среда (MEPC) на ИМО разработи инструменти за мониторинг и справяне с емисиите парникови газове отделяни от корабите и повишаване на ЕЕ (ИМО MEPC.1/Circ.682, MEPC.1/Circ.684, MEPC.1/Circ.683):

- 1) EEDI - Конструктивен индекс за енергийна ефективност на кораба
- 2) EEOI – Експлоатационен индикатор за енергийна ефективност
- 3) SEEMP – План за управление на енергийната ефективност на кораба

В българското морско законодателство промените са посочени в Чл. 36 б от Наредба № 5 от 1 септември 2004 г. за корабните документи (Издадена от Министерството на транспорта и съобщенията - Обн. ДВ. бр.88 от 8 Октомври 2004г., изм. и доп. ДВ. бр.39 от 26 Април 2013г.).

Изводи към глава първа

1. Създадена е класификация на мерките за управление и повишаване на ЕЕ за различните корабни системи.
2. Анализирано е влиянието на морския транспорт върху околната среда. Представени са възможности за ограничаване на въздействието на отделените вредни емисии от кораба и повишаване на ЕЕ.
3. Създадена е информационна база с технологични и оперативни мерки и подходи, която може да се използва от морските компании за повишаване на ЕЕ в морския транспорт и на кораба.

Основната задача, която се решава в следващите глави на дисертацията е представяне на обобщена методика за управление и повишаване на ЕЕ на кораба и опазване на околната среда.

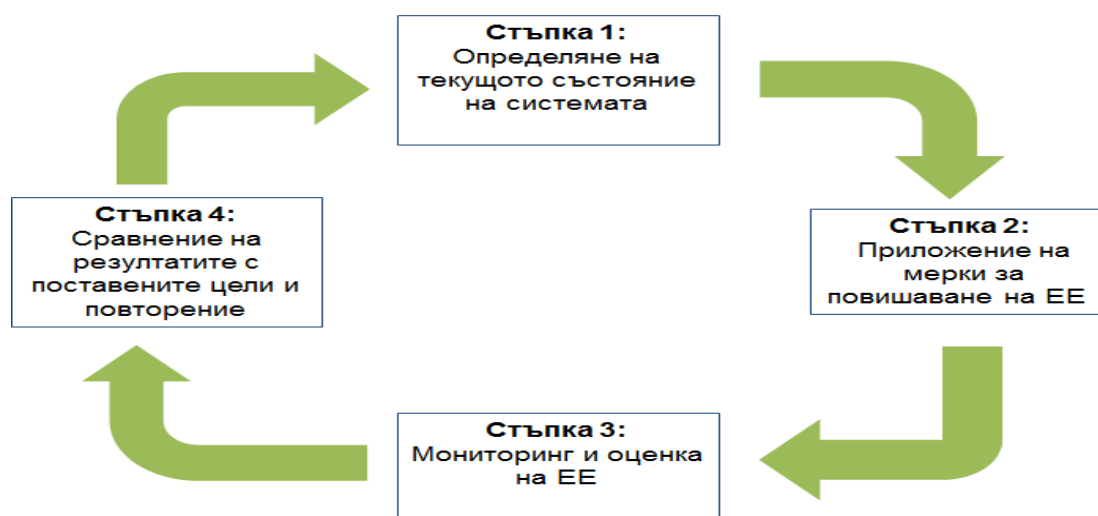
ГЛАВА II. ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ НА КОРАБА. АНАЛИЗ НА НАТОВАРВАНЕТО И ОПТИМИЗАЦИЯ НА РАБОТНИЯ ПРОЦЕС НА КЕЕС

Във втора глава се представя методика за изследване и подобряване на ЕЕ на КЕЕС, която обобщава съществуващите методи за изследване и оптимизиране на системата. Тя следва принципите на системния подход, отчитащ взаимодействието между елементите на изследваната система. Предложеният алгоритъм за повишаване на ЕЕ на КЕЕС включва следните дейности: енергийно обследване (теоретично и експериментално) и анализ на

натоварването на КЕЕС; оценка на резултатите и определяне на загубите в системата; избор на подходящи методи за повишаване на ефективността. Определят се параметрите, при които системата ще функционира оптимално и с висока ЕЕ.

Основните задачи които се поставят във втора глава са следните:

1. Представяне на методика за изследване и подобряване на ЕЕ на КЕЕС
2. Анализ и оценка на възможностите за повишаване на ЕЕ на КЕЕС - получаване на намалени загуби и оптимални параметри
3. Представяне на подход за комплексен анализ и повишаване на ЕЕ на двигателите в електрозадвигачите системи



Фиг. 2.3 Основни стъпки за повишаване на енергийната ефективност

Обобщената методика за повишаване на ЕЕ включва четири основни етапа. Първият етап се състои в определяне на изходните данни и анализ на работата на системата. На втори етап следва избор на оптимизационни мерки, създаване на план за приложение и избор на методи за мониторинг и оценка. Третият етап от процеса на подобряване на ЕЕ включва мониторинг и оценка на ефективността на прилаганите мерки. ЕЕ се измерва количествено чрез различни софтуерни инструменти. Последният етап от процеса представлява анализ на получена оптимизация и сравняване на резултатите с целите. Изработване на критерии за оценка на ЕЕ. Оценката осигурява обратна връзка и съдейства за определяне на насоки за бъдещи подобрения.

- **Изследване на системата**

При определяне на текущото състояние на системата за постигане на по-голяма ефективност се прилага комбиниран подход за енергийно обследване, който съчетава предимствата на теоретичния и експериментален метод.

Теоретичният метод за изследване се прилага при наличие на достатъчно точна и пълна информация за системата, връзките между

елементите, разхода на енергия, технологичните параметри, време за работа. За получаване на ефективна работа на КЕЦ е необходимо да се направи правилен избор на мощността и броя на генераторите в нея.

При *експерименталния метод* се изследва натоварването на КЕЕС по време на експлоатация на кораба, което цели анализ на режимите на работа на източниците на електроенергия и консуматорите. При тази методика за изследване информация се получава от вахтените дневници или от електроизмервателните прибори на главното разпределително табло и преносни измервателни и записващи прибори (горивна консумация, консумирана мощност на определена част от оборудването, качество на електрическа енергия). Изчисляват се и средните стойности на величините и средноквадратичното отклонение.

Големина на натоварването на електроцентрала се получава чрез формулата:

$$P_{CP} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (2.10)$$

и на останалите величини: $S_{CP} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{n}$;

$$Q_{CP} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} ; \cos \varphi_{CP} = \frac{\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2 + \dots + \cos \varphi_n}{n} ; \quad (2.11)$$

Където **n** е броя на всички измервания.

Средноквадратичното отклонение се определя с формулите:

$$\begin{aligned} \sigma_P &= \frac{1}{n-1} \left[(P_1 - P_{CP})^2 + \dots + (P_n - P_{CP})^2 \right]; \sigma_Q = \frac{1}{n-1} \left[(Q_1 - Q_{CP})^2 + \dots + (Q_n - Q_{CP})^2 \right]; \\ \sigma_{\cos \varphi} &= \frac{1}{n-1} \left[(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_{CP})^2 + \dots + (\cos \varphi_n - \cos \varphi_{CP})^2 \right]; \\ \sigma_S &= \frac{1}{n-1} \left[(S_1 - S_{CP})^2 + \dots + (S_n - S_{CP})^2 \right] \end{aligned} \quad (2.12)$$

За изясняване на методиката се използват данни от изследвания, направени в експлоатационни условия на сухотоварен кораб „Черни връх“ в режими ход, маневра и стоянка. Изследвано е натоварването на електроцентрала при различни условия на плаване и различни експлоатационни режими, както и степента на натоварване и консумираната реактивна мощност от различните групи консуматори.

Номинални данни на генераторите: Тип GBn 1312b-02; $S_H = 250\text{Kva}$; $n_H = 500\text{min}^{-1}$; $U_H = 400\text{V}$; $f = 50\text{ Hz}$; $I_H = 361\text{A}$; $\cos \varphi = 0,8$

Изчислени са средните стойности на величините за различните режими и отклонението: - за режим ход - за ДГ №1

$$P_{cp} = 84,05 \text{ kW}; Q_{cp} = 75,05 \text{ kVAr}; S_{cp} = 115,58 \text{ kVA}; \cos\varphi = 0,73;$$

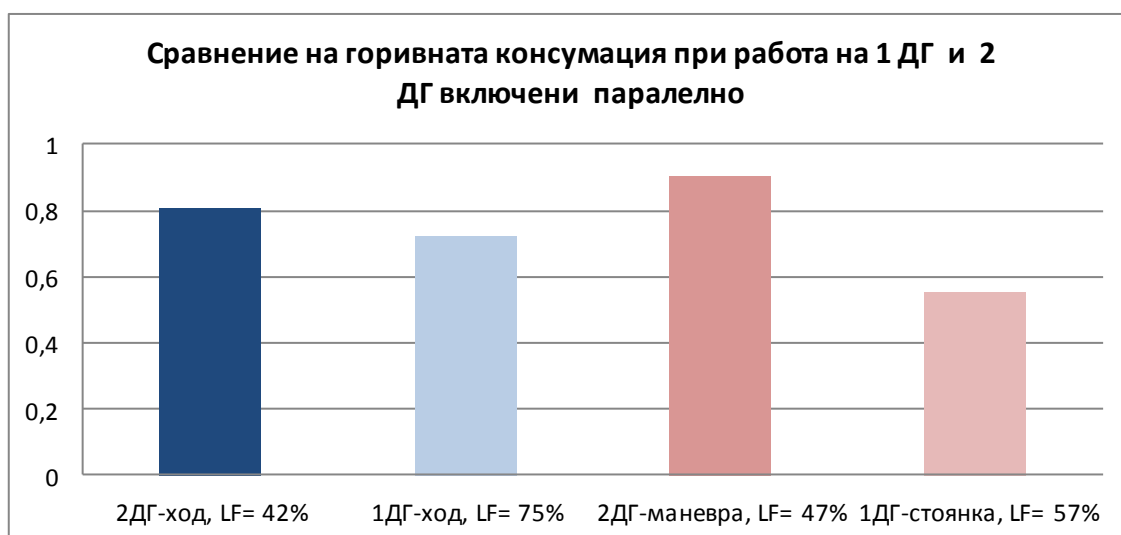
$$\sigma_p = 60,53; \sigma_Q = 94,92; \sigma_s = 55,24; \sigma_{\cos\varphi} = 0,0013$$

- за ДГ №2

$$P_{cp} = 83,53 \text{ kW}; Q_{cp} = 80,94 \text{ kVAr}; S_{cp} = 116,29 \text{ kVA}; \cos\varphi = 0,717;$$

$$\sigma_p = 72,82; \sigma_Q = 122,08; \sigma_s = 171,83; \sigma_{\cos\varphi} = 0,0012$$

При режим ход разпределението на активните мощности е равномерно, а натоварването на двата ДГ е 42%. При режим маневра също работят паралелно два ДГ и натоварването на всеки е 47%. При режим стоянка работи един генератор с натоварване 57% .



Фиг. 2.6

Паралелната работа на два генератора води до повишаване на горивната консумация, особено при по-малко натоварване. За дизеловите двигатели съществено значение има натоварването с активна мощност. Повишаването на привидната мощност за даден корабен генератор води до намаляване на активното натоварване, при което първичния двигател работи ненатоварен с по-малко от 75% от номиналната си мощност и не се използва напълно т.е. с понисък КПД. За повишаване на ефективността е необходимо да се осигури работа на КЕЕС при висок фактор на мощността.

- **Подобряване на ефективността на КЕЦ**

Факторът на мощността $\cos\varphi$ е важен показател за ефективността на системата. За най-пълно използване на напрежението от електрическите машини те трябва да имат висок $\cos\varphi$. Най-разпространените способи за

повишаване на $\cos \varphi$ без употреба на компенсиращи устройства и мероприятия са свързани със следните изисквания:

- Подходящ избор на механизмите и двигателите към тях с цел оптимално натоварване на задвижващите електродвигатели;
- Корабните консуматори трябва да работят с натоварване близко до номиналното;
- Използване на системи за управление с честотни преобразуватели;
- Подобрена експлоатация –редовна диагностика и параметричен контрол;
- Повишаване на напрежението на генераторите и консуматорите.

Заедно с тези способи се прилагат и компенсиращи мероприятия, които понижават загубите на напрежение и активна мощност в мрежата. Използват се компенсиращи устройства, които се включват само в точките в които е необходимо компенсиране на реактивна мощност, за да се избегнат загубите от предаване по линиите.

- ***Подобряване на ефективността на корабните консуматори***

Най-съществено влияние върху натоварването на корабната електроцентрала оказват непрекъснато работещите консуматори, които влизат в състава на механизмите на главния двигател, хладилната и климатична уредба, палубните механизми, вентилатори, които са част от корабните електрозадвижващи системи и корабно осветление. Повишаването на тяхната ефективност ще осигури най-голямо спестяване на енергия. Основните мерки за повишаване на ЕЕ са свързани с поставяне на по-икономични източници на светлина; замяна на старите нагреватели и прибори с нови по-икономични; включване на определени източници само при необходимост.

- ***Повишаване на ефективността на електрозадвижващи системи***

Електрозадвижващите системи са най-големия потребител на енергия на кораба, за постигане на цялостно подобрене на ЕЕ в тези системи трябва да се повиши КПД на отделните елементи, като част от цялата система. Ефективността (КПД) на системата може да се представи като произведение на КПД на отделните и елементи:

$$\eta_{C-MA} = \eta_{ДВ} \times \eta_{ПМ} \times \eta_{КМУ} \times \eta_{РМ} \quad (2.22)$$

$\eta_{ДВ}$ - КПД на двигателя; $\eta_{ПМ}$ - КПД на предавателни механизми; $\eta_{КМУ}$ - КПД на контролни механизми и устройства; $\eta_{РМ}$ - КПД на работната машина.

Мерките за повишаване на ЕЕ на задвижващите системи могат да се обобщят в следните дейности:

- **Осигуряване на качествена електрическа енергия**

- Поддържане на нивото на напрежението близко до номиналното
- Баланс на фазовите напрежения
- Поддържане на висок фактор на мощността
- Избор на ефективни трансформатори
- Откриване и премахване на загубите от пренос на енергия
- Намалване на съпротивлението на разпределителната и преносна система

- **Оптимизиране на двигателите**

- Подходящ подбор на двигатели според натоварването на системата. Необходимо е двигателите да работят с относително натоварване (ОН) от 65 - 100% за постигане на по-висока ефективност.
- Използване на високоефективни двигатели - освен спестяването на енергия високоефективните двигатели са по-качествени, по-надеждни, по-тихи и загряват по-малко от стандартните.
- Осъществяване на редовна диагностика;
- Прилагане на подходящи мерки за получаване на оптимизирана експлоатация.

- **Оптимизиране на предавателните и контролни механизми**

- Използване на честотни регулатори и контролери;
- Използване на по-ефективни съединители и тръбопроводи;

- **Оптимизиране на работните механизми**

- Избор на работна машина според изискванията на задвижването;
- Използване на по-ефективни работни машини;
- Осъществяване на диагностика и подходяща поддръжка;
- Оптимизирана експлоатация.

При оценка на различни системи се използват **законите на подобие**:

$$Q_2/Q_1 = n_2/n_1; \quad p_2/p_1 = (n_2/n_1)^2; \quad P_2/P_1 = (n_2/n_1)^3 \quad (2.28)$$

т.е. разходът (дебита) Q е право пропорционален на честотата на въртене n , налягането p е право пропорционално на квадрата на честотата на въртене, а мощността на вала P на третата степен на n .

За да се намали консумацията на цялата задвижваща система се използват различни устройства, които регулират работата на двигателя, както и устройства за механичен, електромеханичен и хидравличен контрол на скоростта на задвижването. Основните методи за регулиране са: байпасно, дроселно, хидравлично, регулиране чрез включване/изключване и честотно регулиране на двигателя.

Най-голямо спестяване на електрическа енергия се получава при механизмите с вентилаторна характеристика (вентилатори, центробежни

помпи) $M_C=f(\omega^2)$, $P_C=f(\omega^3)$, закона за честотно управление е следния: $U_1 / f_1^2 = \text{const}$. Тези електрозадвижващи системи са най - многобройни и често работят в непрекъснат режим. Основните насоки за пестене на енергия са свързани с намаление на загубите чрез изменение на производителността на електрозадвижванията и подобряване на ефективността на електродвигателите.

Методиката за оценка и сравнение на ЕЕ при различните начини за регулиране на производителността на електрозадвижванията включва етапите:

1. Определят се изходните данни на системата - попълват се таблици с данните на работната машина (помпа, вентилатор, компресор), задвижващия двигател и преобразувателя.
2. Осъществява се анализ и изчисления на следните величини: [37]:

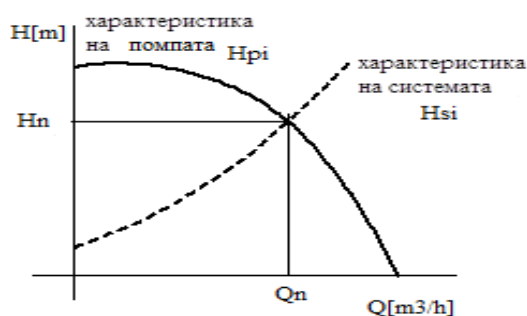
Уравнение на характеристиката на помпата:

$$H_{pi} = H_{max} - (Q_i/Q_n)^2 \times (H_{max} - H_n) \quad (2.29)$$

Уравнение на характеристиката на системата:

$$H_{si} = H_{st} + (Q_i/Q_n)^2 \times (H_n - H_v - H_{st}) \quad (2.30)$$

Чрез пресичането на напорно-разходната характеристика на турбомашината и кривата на хидравличното съпротивление на системата се определя работната точка, която определя консумираната мощност за съответния режим и дава възможност за анализ на енергийната ефективност.



Фиг.2.12

Байпасно регулиране - Необходимата мощност за помпата, (kW) - представлява механичната мощност отдавана от електродвигателя. Тя се изчислява по формулата:

$$P_{bps} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H_p \cdot 98.1}{(\eta_p \cdot \eta_m)} \quad , \quad (2.31)$$

където ρ е въведената плътност на течността, Q е действителния дебит за който се изчислява консумираната мощност. Изчисленията се извършват за стойности при $Q = 30\%$ до 100% от номиналния дебит Q_n . H е пълния динамичен напор съответстващ на дебита Q .

Дроселно регулиране - Мощността се определя чрез формулата:

$$P_{thi} = \frac{\rho \cdot Q_i \cdot H_{pi} \cdot 98.1}{(\eta_p \cdot k_{pi} \cdot \eta_m)} \quad , \quad (2.32)$$

където $k_{pi} = Q_i \cdot (2.4 - 1.44 \cdot (Q_i/Q_n)) / Q_n$

Хидравлично регулиране - Необходимата мощност се определя по формулата:

$$P_{hyi} = \frac{\rho \cdot Q_i \cdot H_{si} \cdot 98.1}{(\eta_p \cdot k_{mj} \cdot \eta_m \cdot n_{hi})} , \quad (2.33)$$

където: $k_{mj} = (Q_i/Q_n) \cdot [(H_{st}/H_n - 0.6)^2 \cdot 0.15]$

$$n_{hi} = 0.98 \cdot \left\{ Q_i + [(1 - Q_i) \cdot 0.75 \cdot (H_{st}/H_n)^{0.5}] \right\}$$

Регулиране чрез включване/изключване - Мощността се определя чрез формулата:

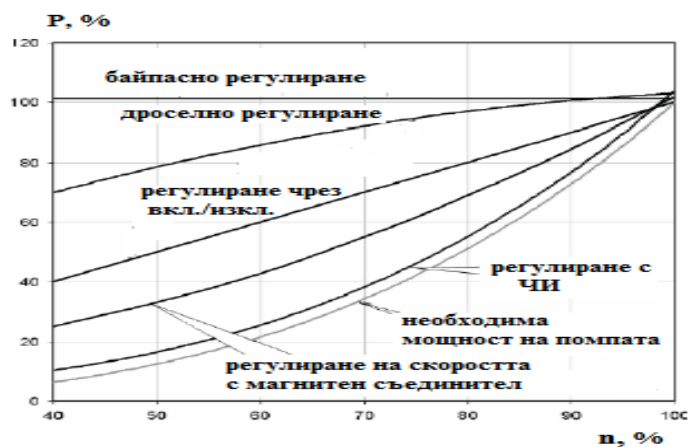
$$P_{ON/OFF} = \frac{\rho \cdot Q_n \cdot H_n \cdot 98.1}{(\eta_p \cdot \eta_m)} \quad (2.34)$$

Честотно регулиране - Мощността се определя чрез формулата:

$$P_{vsdi} = \frac{\rho \cdot Q_i \cdot H_{si} \cdot 9810}{(\eta_p \cdot \eta_m \cdot k_{mi} \cdot \eta_{vsd})} , \quad (2.35)$$

където $k_{mi} = (Q_i/Q_n)^{(0.2-0.2 \cdot H_{st}/H_n)}$

При регулиране производителността на помпи, компресори и вентилатори най-ефективен се оказва метода основан на честотното регулиране. Основните предимства на задвижванията регулирани с честотни инвертори (ЧИ) са следните: спестяване на енергия и повишаване на надеждността; намаляване на разходите за експлоатация и поддръжка; плавно пускане и спиране; качествено електрозахранване и висок КПД .



Фиг.2.14 Спестяване на енергия при различни методи за регулиране на работния флуид (за помпи)

ПОДХОД ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕЕ НА ДВИГАТЕЛИТЕ

Важен компонент на задвижващата система е електродвигателя (ЕД), необходимо е той да работи с висок КПД, като важен фактор за постигане на по-добра ефективност и намаление на консумираната енергия от електрозадвижването е начина за управление на двигателя. Асинхронните двигатели (АД) са основните консуматори в корабната електростанция. За

повишаване на ефективността на АД е необходимо да се осигурят оптимална конструкция и параметри на двигателя и оптимални условия за управление.

Подходът за повишаване на ЕЕ на двигатели в съществуващите системи включва следните основни стъпки:

- Първоначална оценка на всички двигатели в системата;
- Мониторинг, поддръжка и повишаване на ЕЕ на двигателя;
- Ефективно управление на двигателя.

• **Първоначална оценка на всички двигатели**

За да се посочат най-подходящите мерки за оптимизация на ефективността е необходимо да се определят параметрите и да се направи анализ на работата на двигателя. Основните стъпки на този етап са следните:

- **Определяне на изходните данни на двигателите**

- **Определя се относителното натоварване (ОН) на ЕД**

В зависимост от данните с които разполагаме може да се използват следните методи за определяне на ОН:

1. По отношението на действителната консумирана мощност към тази в номинален режим:

$$\text{ОН}(\%) = (P_1/P_{1\text{НОМ}}) \cdot 100 \% \quad (2.39)$$

Където: $P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos\varphi / 1000$, kW (2.40)

$$P_{1\text{НОМ}} = P_{2\text{НОМ}} / \eta_{\text{НОМ}}, \text{ kW} \quad (2.41)$$

$P_{2\text{НОМ}}$ – механична мощност на вала

2. По отношението на действителния и номиналния ток

$$\text{ОН}(\%) = (I_{\text{л}}/I_{\text{л,НОМ}}) \cdot (U_{\text{л}}/U_{\text{л,НОМ}}) \cdot 100 \% \quad (2.42)$$

3. По отношението на действителното хлъзгане към номиналното

Зависимостта на хлъзгането на асинхронния двигател s от натоварването е почти линейна, следователно:

$$\text{ОН}(\%) = (s/s_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \% \quad (2.43)$$

или $\text{ОН}(\%) = (n_{\text{син}} - n) / (n_{\text{син}} - n_{\text{НОМ}}) \cdot 100 \% \quad (2.44)$

$n_{\text{син}}$ е синхронна скорост на въртене в об/мин;

n – действителна скорост на въртене в об/мин,

$n_{\text{НОМ}}$ – номинална скорост на въртене в об/мин.

- **Определя се КПД на ЕД**

$$\eta(\%) = P_{2\text{НОМ}} \cdot \text{ОН}(\%) / P_1 \quad (2.46)$$

Съществува връзка между ефективността (КПД) на двигателя и ОН. Двигателите се проектират за работа с ОН от 50-100%, най-висока е ефективността при натоварване 75%.

• **Мониторинг, поддръжка и повишаване на ЕЕ на двигателя**

Чрез събраните данни и изчисленията ОН и КПД може да се определи подход за по-ефективна експлоатация на електродвигателя, което ще осигури икономия на електроенергия, а следователно и на финансови средства. Необходимо е да

се осъществява редовна диагностика и поддръжка за да се избегнат повредите при експлоатация на ЕД.

Замяната на двигателите (EEF3) с по-енергоефективни (EEF1), въпреки високите първоначални инвестиции ще осигури намаление на експлоатационните разходи и бъдещи спестявания за операторите. Спестената енергия E_s , [kWh] и спестените годишни разходи за енергия C_s , [BGN] при такава замяна, при известна цена на електроенергията C_E , [BGN], се определят чрез формулите [61]:

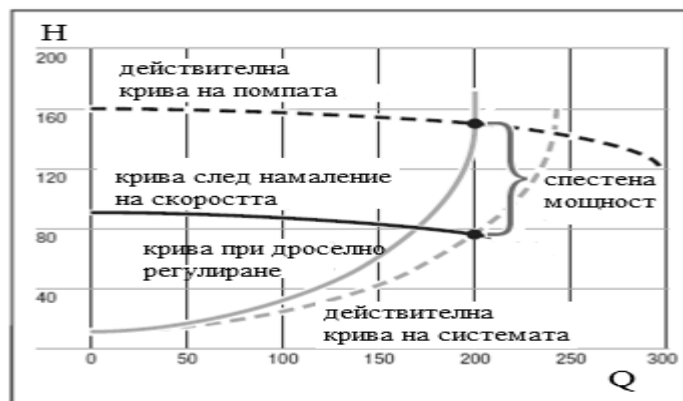
$$E_s = h \times P_{2НОМ} \times ОН \times \left(\frac{1}{\eta_{EEF3}} - \frac{1}{\eta_{EEF1}} \right) \quad (2.47)$$

$$C_s = h \times P_{2НОМ} \times ОН \times \left(\frac{1}{\eta_{EEF3}} - \frac{1}{\eta_{EEF1}} \right) \times C_E \quad (2.48)$$

където $ОН$ е относителното натоварване на двигателя; $P_{2НОМ}$ е номиналната мощност; h е времето за работа на двигателя.

• **Ефективно управление на двигателя**

Прилагането на честотно регулиране има едно основно предимство, може да осигури намаление на енергийните загуби чрез намаление на потока и налягането в цялата система.

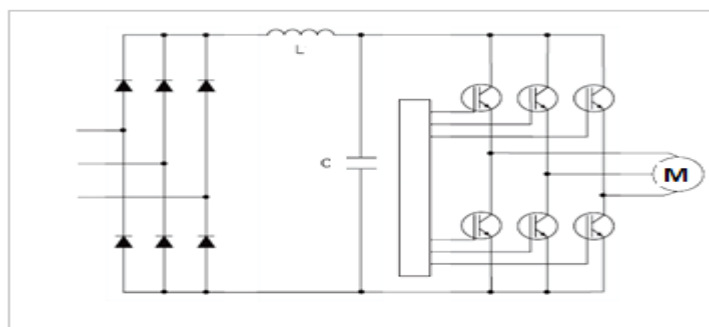


Фиг.2.13 Регулиране на скоростта на задвижването

При този метод не се въздейства върху характеристиката на системата, а върху характеристиката на турбомашината. Чрез промяна честотата на въртене на двигателя, напорно-разходната характеристика на помпата се пренася успоредно на себе си. Намаляването на честотата на въртене води до желаното намаление на производителността, при което консумираната мощност също намалява.

Най-прецизно е регулирането на производителността на електрозадвижванията с честотни инвертори (ЧИ) с широчинно-импулсна модулация (ШИМ), построени на базата на мощни полупроводници - транзистори от тип IGBT или MOSFET. То осигурява повишаване на енергийната ефективност на задвижването.

Основните елементи на преобразувателите от инверторен тип са изправителен блок, постояннотоков контур, инверторен блок и устройство за управление.



Фиг. 2.21

Тези инвертори използват ШИМ и консумират ток с много по-ниски хармонични съставки, в сравнение с диодните и тиристорни преобразуватели. При ШИМ постоянното напрежение се преобразува в симетрични правоъгълни импулси с различна продължителност. Импулсите изменят широчината си в зависимост от модулиращия сигнал, а честотата на следване на импулсите е фиксирана. Продължителността на импулсите се регулира по определен закон, най-често синусоидален. При този начин се намаляват висшите хармоници на изходното напрежение и дори се отстраняват напълно.

За изчисление на спестяванията, които се получават при прилагане на честотни инвертори е необходимо да се определят годишните разходи за енергия на електрозадвижването при различните видове регулиране и да се сравнят с тези при прилагане на ЧИ (2.69):

$$\text{Годишни разходи за електроенергия (BGN)} = \frac{P_{2\text{НОМ}}}{\eta_d} \times h \times \text{ОН} \times \left(\frac{n}{n_{\text{НОМ}}} \right)^3 \times C_E \times \frac{1}{\eta_{\text{ЧИ}}}, \quad (2.52)$$

където η_d е КПД на двигателя, $\eta_{\text{ЧИ}}$ е КПД на ЧИ.

За сравнение на ефективността на различните методи за регулиране на производителността на електрозадвижващите системи се изчисляват:

Енергията консумирана за една година [kWh], за всеки от методите:

$$E = \sum (Tki \cdot Pi) \quad (2.36)$$

Pi , [kW] е необходимата мощност на електрозадвижването;

Tk , [h] е времето за работа за една година.

Енергията спестена за една година [kWh], при използването на честотно регулиране се определя чрез формулата:

$$Es = Ei - Evsd \quad (2.37)$$

Изчислява се годишния разход при използване на честотно регулируемо задвижване изваден от същия при използването на друг метод т.е. разликата в консумираната при двата метода електрическа енергия.

Спестените годишни разходи за електроенергия C_s [BGN] се определят по формулата: $C_s = E_s \cdot c_e$ (2.38)

Необходимо е да е известна *цената на електрическата енергия* c_e [BGN/kWh].

За да се вземе решение за прилагане на честотно регулиране е необходимо да се определят:

Инвестиционните разходи C [BGN] - това са допълнителните разходи включващи себестойността и цената при инсталиране на честотен преобразувател в сравнение с разходите за алтернативния метод на регулиране.

Времето за изплащане - представлява стойността на инвестиционните разходи разделени на стойността на спестената за една година електрическа енергия.

Изводи към втора глава

1. Предложен е обобщен алгоритъм за повишаване на ЕЕ на КЕЕС, който обединява всички дейности за изследване на системата и подходящи мерки за повишаване на ЕЕ.
2. Обобщени са и анализирани най-подходящите мерки и практики, които могат да бъдат приложени за спестяване на енергия и повишаване на ЕЕ на КЕЕС.
3. Представен е оптимизиран подход за повишаване на ЕЕ на двигателите в електрозадвижващите системи.

ГЛАВА III. МЕТОДИКИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБА

В трета глава от дисертацията са разгледани различни подходи и методики, които се прилагат за изследване и управление на ЕЕ на кораба, и е направена класификация на тези методики. Представен е интегриран подход за осъществяване на мониторинг, анализ и повишаване на ЕЕ на кораба. Предложена е методика за оценка на енергийните потоци в енергийната система. Прилагат се „Sankey“ диаграми за графично представяне и анализ на тези потоци. Определят се областите със загуби и се посочват най-подходящите оптимизационни мерки за всяка подсистема.

Основните задачи, които се поставят в тази глава са следните:

1. Анализ и създаване на класификация на методиките за изследване и управление на ЕЕ на кораба.
2. Представяне на подобрена методика за изследване на енергийните потоци в корабните системи.
3. Изследване на енергийната консумация на кораба, чрез прилагане на интегриран подход и представяне на подходящи мерки за оптимизация на ЕЕ на отделните подсистеми.

Методиките за оценка и повишаване на ЕЕ на кораба могат да бъдат класифицирани в зависимост от факторите влияещи върху ефективността. (Фиг.3.1)

МЕТОДИКИ ЗА ОЦЕНКА И ПОВИШАВАНЕ НА ЕЕ НА КОРАБА

Оценка на отделените емисии	Икономически анализ	Изследване на консумираната енергия
EEDI	Разходи за гориво	<i>Интегриран подход</i>
EEOI	Разходи за вложен труд	Системен анализ -емпиричен подход -детерминиран подход
	Разходи за вложен капитал	Математическо моделиране на системата
	Експлоатационни разходи	Софтуерни инструменти за симулация
		Оценка на енергийните потоци в системата (Sankey диаграми)

Фиг. 3.1 Класификация на методики за управление на ЕЕ на кораба

➤ **Икономически анализ на ефективността на кораба**

Икономическият анализ на ефективността изследва степента на използване на основните фактори, влияещи върху разходите: гориво, капитал и труд, както и тяхното комплексно отражение. Моделът който се предлага е съставен с помощта на производствената функция на Коб – Дъглас:

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + v_i - u_i \quad (3.4)$$

Ефективността на кораба може да се представи чрез разходите. Тъй като основните фактори, въздействащи върху разходите се влияят от неговия размер, функцията на Коб – Дъглас се представя като разходна и да се определят пълните разходи за TEU:

$$\ln (TC) = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 + \beta_4 \ln X_4 + v_i - u_i \quad , \quad (3.5)$$

където TC - пълните разходи (Total Costs) за TEU;

β_0 - константа;

β - параметри пред зависимите променливи, чиито оценки се търсят;

X_1 – разходи за вложен капитал (цена на кораба и оборудването);

X_2 – разходи за гориво (разход за тон/година);

X_3 – разходи за вложен труд (заплати на екипажа - отработени часове за година);

X_4 – експлоатационни разходи (разходи за застраховки, такси и др.);

v_i – установени случайни грешки;

u_i - въздействие на неефективните фактори (техническа неефективност).

Чрез този метод може да се установи кои производствени фактори се използват ефективно и как влияе тяхното изменение върху икономическата ефективност на кораба.

➤ **Методика за оценка на ЕЕ на кораба чрез анализ на отделените емисии**

Ефективността на кораба може да бъде оценена чрез изследване на отделените емисии от корабоплаването, като се използват инструментите

разработени от IMO (EEDI, EEOI). Прилагат се различни софтуерни калкулатори за изчисляване на емисиите (BIMCO, Shippingefficiency.org).

Изчисление на EEDI - инструмент за мониторинг, който се определя от общото количество емисии, отделени при изгаряне на гориво, спрямо извършената полезна работа. [92]

Данни на контейнеровоз „Jaguar Max“ 2,200 TEU:

$MCR_{ME} = 22477,53 \text{ kW}$ - максимална мощност

Capacity: за контейнеровоз 70% DWT = $30554.70\% = 21388 \text{ t}$

$C_{F,ME} = C_{F,AE} = 3,1144 \text{ (t-CO}_2\text{/t-Fuel)}$ за HFO

$SFC_{ME} = 169 \text{ g/kWh}$; $SFC_{AE} = 200 \text{ g/kWh}$

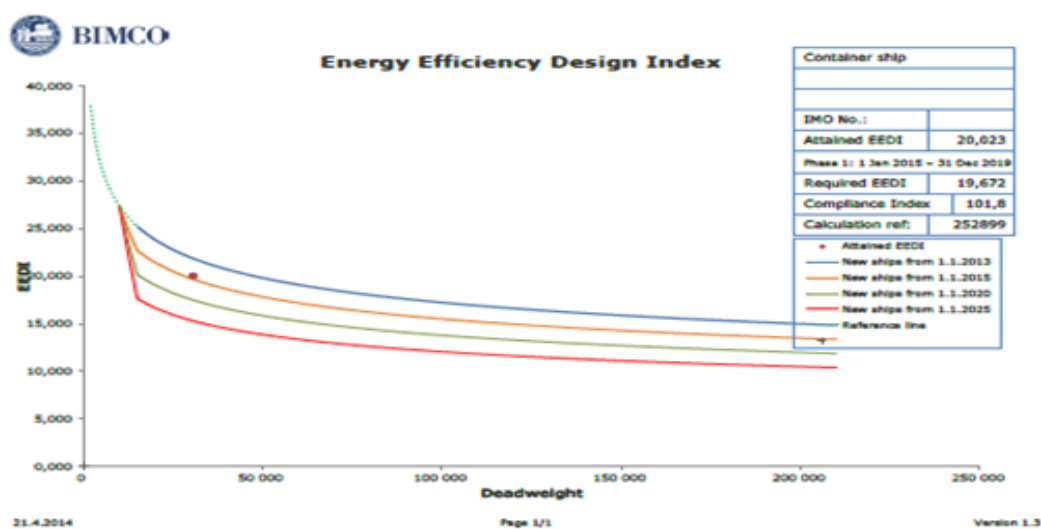
$V_{ref} = 21,90 \text{ kn}$

$P_{ME} = 0,75 \times MCR_{ME} = 0,75 \times 22477,53 = 16858,15 \text{ kW}$

$P_{AE} = (0,025 \times MCR_{ME}) + 250 = 811,94 \text{ kW}$

$$EEDI = \frac{\left((P_{ME} \times C_{F,ME} \times SCF_{ME}) + (P_{AE} \times C_{F,AE} \times SCF_{AE}) \right)}{\text{Capacity} \times V_{ref}} =$$

$$= \frac{\left((16858,15 \times 3,1144 \times 169) + (811,94 \times 3,1144 \times 200) \right)}{21388 \times 21,90} = 20,023 \text{ [gCO}_2\text{ / t.nm]}$$



Фиг.3.3 EEDI за разглеждания кораб(BIMCO EEDI Calculator)

Полученият индекс има стойност по-ниска от референтната за нови кораби построени след 01.01.2013г. (фиг.3.3) Но за да отговаря дизайна на кораба на EEDI изискванията след 2015г. е необходимо да се предприемат оптимизационни действия – прилагане на иновативни технологии и експлоатационни мерки.

➤ *Интегриран подход за анализ и оптимизация ЕЕ на кораба*

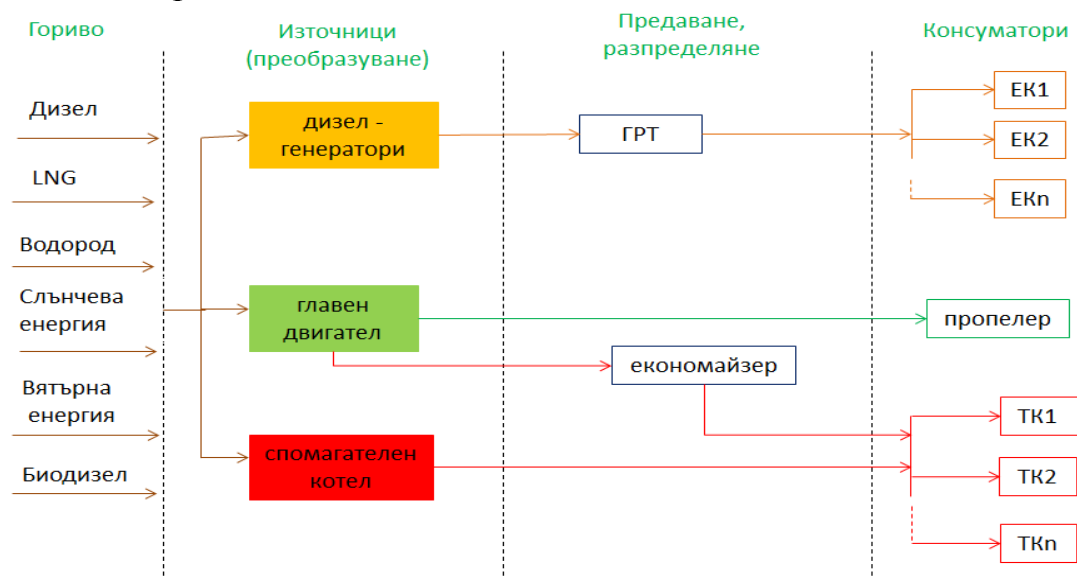
Корабът представлява сложна техническа система, оптимизацията на параметрите на която изисква комплексен анализ. Изследва се ефективността на отделните подсистеми, оценяват се загубите и възможностите за цялостно подобряване на ЕЕ на кораба. Получената информация относно състоянието на системите и препоръките се използват за създаване на модели на текущите и оптимизирани системи. Модели на основните елементи на КЕЕС са посочени в [10, 151, 81, 112]. Съществуват множество софтуерни инструменти за симулация на работата на големи технически системи. [124, 62, 151, 121, 154]

Чрез тях се осъществява сравнение на различни конфигурации на системата, може да се оцени ефективността на отделните консуматори и да се идентифицират енергийните загуби.

Методика за анализ и оптимизация ЕЕ на кораба чрез оценка на енергийните потоци

Обектът на изследването - корабът се разглежда като комплексна енергийна система, съставена основно от три подсистеми – източници на енергия, средства за предаване, преобразуване и разпределяне на енергия и консуматори. (Фиг. 3.4)

Източниците на енергия за разглеждания контейнеровоз се разделят на три основни групи – главен двигател (ГД), спомагателни двигатели (СД) - дизел – генератори и котел. Те преобразуват енергията на горивото в механична, електрическа и термична.



Фиг.3.4 Структурна схема на корабната енергийна система

За оценка на системата и определяне на разходите на компаниите се анализира горивната консумация на кораба.

Дневната консумация на гориво (FOC) се изчислява по формулата[44]:

$$FOC = \frac{P_{installed} \times LF \times SFC \times h}{g/t}, [t] \quad (3.23)$$

$P_{installed}$ е номинална мощност на ГД; SFC_{ME} - специфичната горивна консумация на двигателя; LF – относителното натоварване на ГД; $h = 24$ – транзитни часове на ден; $g/t = 1000000$ – грама за метричен тон;

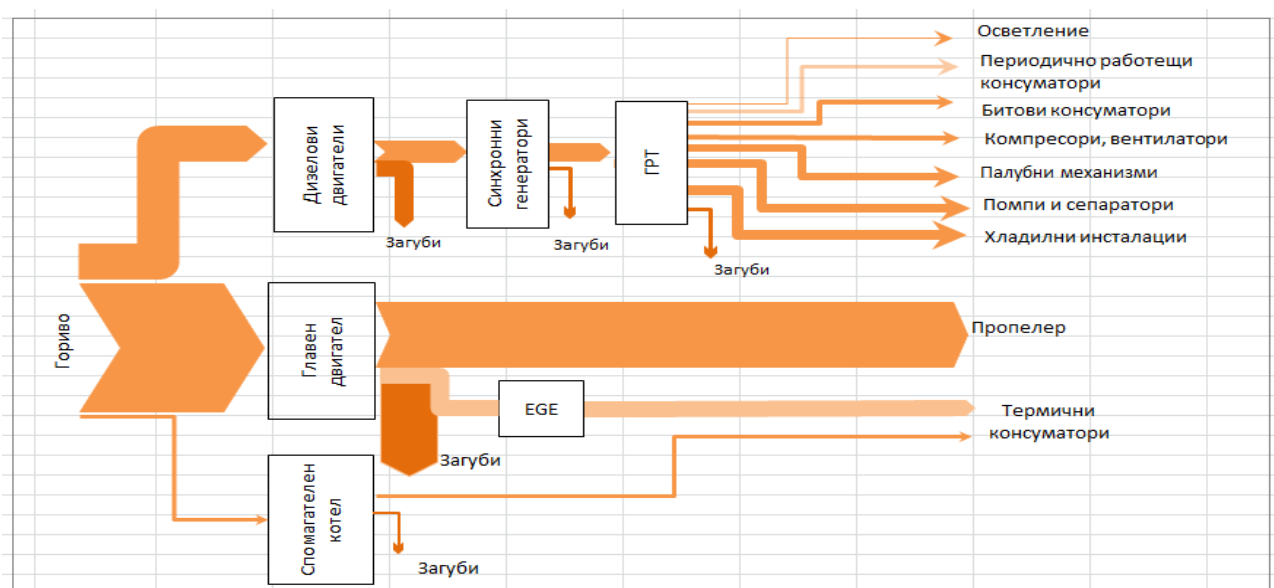
Пълното количество консумирано гориво, представлява сума от консумираното гориво от главния двигател, дизел – генераторите и котела:

$$FOC_{year} = 21298,48 + 5767,73 + 406,61 = 27472,82[t]$$

Таблица 3.2

	Входящ енергиен поток	КПД
Главен двигател	77,52%	0,499
Дизел - генератори	21%	0,42
Спомагателен котел	1,48%	0,793

Данните от енергийния анализ могат да бъдат визуализирани за по-голяма яснота – прилагат се т. н. Sankey диаграми. Размерът на потоците в диаграмата съответства на количеството енергия, преминаваща през съответните източници и консуматори. (фиг. 3.5) Анализът на диаграмата показва, че от източниците на енергия най-голямо количество гориво е необходимо на главния дизелов двигател и загубите са най-значителни. Следователно върху тази подсистема трябва да се фокусират основните усилия за оптимизация.



Фиг.3.5 “Sankey” диаграма на цялата енергийна система

АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНИЯ ПОТОК НА ГЛАВНИЯ ДВИГАТЕЛ

Последователността от действия за повишаване на ЕЕ на ГД, СД и котела включва три основни етапа – определяне на ефективността; определяне на загубите и повишаване на ЕЕ.

- **Определяне на ефективността**

Ефективността (горивната ефективност) на ГД се определя с формулата:

$$\eta_{\text{ВТн}} = \frac{P_B}{Q_f} = \frac{17981,6}{36043,36} = 0,499 \quad (3.28)$$

Чрез нея се определя каква част от горивната мощност се преобразува в мощност на вала P_B .

За да се изчисли топлинната ефективност на главния дизелов двигател е необходимо да се определи размера на **топлинния поток** Q_f (горивна мощност) отделен при изгаряне на горивото в двигателя:

$$Q_f = m_f \times C.V. = 0,844 \times 42705,4 = 36043,36 \text{ kW или kJ/s}$$

m_f – изгореното количество гориво за секунда [kg/s];

$C.V.$ (*calorific value*) – термичната енергия отделена при изгаряне на 1kg гориво [kJ/kg].

- **Определяне на загубите**

Загубите на термична енергия от изходящите (отработени) газове и охлаждащи системи представляват значителна част от енергийния поток през главния дизелов двигател, обикновено са около 20 - 30%. Част от тази енергия може да бъде възстановена и да се осигури спестяване на средства и намаление на вредните емисии, което ще повиши ефективността на системата. Въпреки по-ниската температура на газовете при ниско - скоростните двигатели може да бъде приложена когенерация.

Енергийните потоци в системите за предаване и обмяна на енергия на двигателя са със следните размери:

Таблица 3.3

Енергиен поток	%
Гориво (входящ енергиен поток)	100
Мощност на вала	49,90
Изходящ (отработен) газ	19,70
Въздушно охлаждане	18,18
Охлаждане чрез маслото	3,53
Водно охлаждане	7,52
Други загуби	1,17

За изчисляване на топлинната енергия на отработените газове се използва формулата:

$$Q_{\text{us,g}} = m_g \cdot c_p \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) \quad (3.31)$$

$m_g = 149000 \text{ kg/h}$ - потока отработени газове (при 80% натоварване);

$c_p = 1,009 \text{ kJ/kg}^0 \text{ K}$ (www.dieselnet.com) – специфичен топлинен капацитет на изходящите газове;

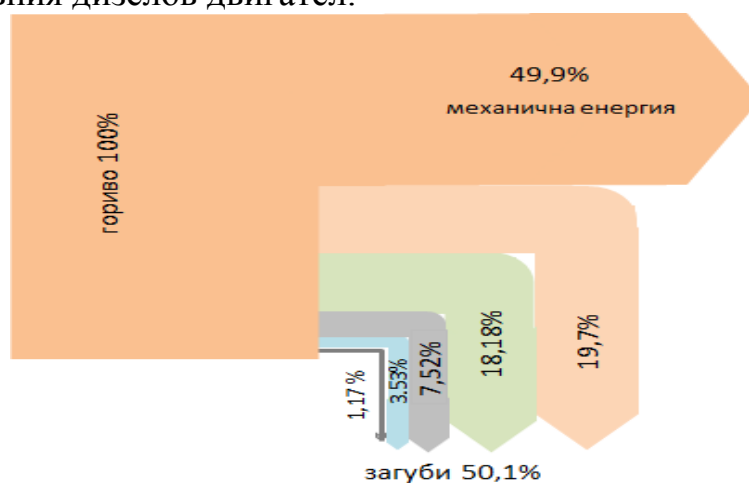
T_{out} – температурата на изходящите газове (от турбокомпресора) = 320 °C

T_{in} – входяща температура на газовете в турбината = 490 °C

Топлинната енергия отделена с отработените газове се получава:

$$Q_{us,g} = \frac{149000}{3600} \times 1,009 \times (490^0 - 320^0) = 7099,4kW \text{ или } kJ/s \text{ (19,7\%)}$$

Чрез представената Sankey диаграма се описва разпределението на енергията в главния дизелов двигател.



Фиг.3.8 Топлинен баланс на ГД

Подобрената ефективност на системата чрез оползотворяване енергията на отработените газове се определя чрез формулата:

$$\eta_{tot} = \frac{P_B + Q_{us,g}}{Q_f} = \frac{17981,6 + 7099,4}{36043,36} = 0,7 \quad (3.33)$$

Това комбинирано генериране на механична и топлинна енергия от главния дизелов двигател осигурява спестявания и цялостно повишаване ефективността на системата.

- **Повишаване на енергийната ефективност**

Система за оползотворяване на изходящите газове от двигателя (WHR)

За получаване и на електрическа енергия чрез възстановяване на енергията на изходящите газове се инсталират котел за изходящите газове, парна и електрическа (за изх. газове) турбина и генератор. Това води до намаление на количеството входящ въздух и изходящи газове и увеличение на температурата на изходящите газове след турбокомпресора и байпаса. Следва увеличаване на произвежданата пара от котела за изходящи газове. Електрическа турбина се използва за генериране на допълнителна електрическа мощност и може да замени производството на енергия от СД. По-сложните системи за възстановяване енергията на изходящите газове (WHR) включват и валов двигател/генератор, но те са по-скъпи.

Електрическата енергия, която може да бъде получена от TES на ГД е представена в таблицата:

Таблица 3.4

Тип кораб	Контейнеровоз 2200 TEU
Тип на ГД	8S70MC
MCR – номинална мощност на ГД	22477 kW
Натоварване на ГД	85%
Изходяща мощност	19105,5 kW

Електрическа енергия получена от турбина за отпадните газове - EGT (Фиг. 3.2 – Приложение 3)	600 kW (3,1% от мощността на ГД)
Електрическа енергия получена от парна турбина с едно налягане – ST1 (Фиг.3.2 – Приложение 3)	1200 kW (6,3% от мощността на ГД)
Електрическа енергия получена от парна турбина с две стойности на налягането – ST2 (Фиг.3.2 – Приложение 3)	1400 kW (7,3% от мощността на ГД)
TES1= EGT+ST1	1800 kW (9,4% от мощността на ГД)
Спестявания за година от TES1	1 230 990 \$/година
TES2= EGT+ST2	2000 kW (10,4% от мощността на ГД)
Спестявания за година от TES2	1 361 946,5 \$/година
Период за изплащане на инвестицията (цена на горивото \$600) (Фиг.3.3 – Приложение 3)	5 години

За да се определи размера на спестяванията се изчисляват **разходите за гориво FC** (Fuel Cost) при натоварване на двигателя 85% ($P_{ME} = 22477kW$), специфична горивна консумация 0,00017 t/kWh за експлоатационен период 280 дни, 24 часа/ден и цена на горивото \$600.

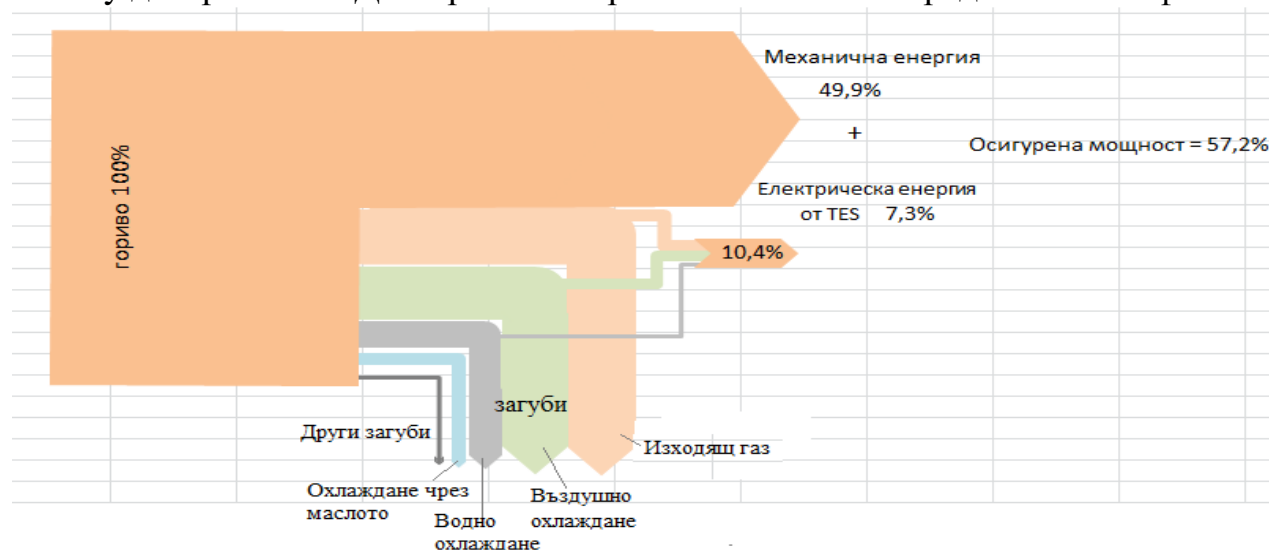
$$FC = 280 \times 24 \times 0,00017 \times 22477 \times 0,85 \times 600 = 13\,095\,639,7 \text{ \$/година}$$

Системите за възстановяване на енергията осигуряват намаление на горивната консумация и спестяване на средства:

$$TES1 = 0,094 \times 13\,095\,639,7 = 1\,230\,990 \text{ \$/година}$$

$$TES2 = 0,104 \times 13\,095\,639,7 = 1\,361\,946,5 \text{ \$/година}$$

Sankey диаграма на ГД с термо-електрическа система е представена на фиг.3.10



Фиг.3.10 Топлинен баланс на ГД с TES

Приложение на валогенератор

Предимства на валогенераторите:

- Валогенераторът получава енергия от ГД по време на ход на кораба и осигурява по-евтина електрическа енергия за консуматорите;
- Те са надеждни и не замърсяват;
- Спестяват пространство и не изискват големи инвестиции.

За конкретния кораб може да се приложи валогенератор с мощност 1200kW и да се изчислят количеството консумирано гориво и спестените разходи:

Таблица 3.5

MCR _{ME} – номинална мощност на ГД	22477 kW
Мощност на ГД (75% натоварване) $P_{ME} = 0,75 \times MCR_{ME}$	16858 kW
Специф.горивна консумация на ГД SFC _{ME}	169 g/kWh
Мощност на СД $P_{AE} = (0,025 \times MCR_{ME}) + 250$	812 kW
Специф. горивна консумация на СД SFC _{AE}	200 g/kWh
MCR _{PTO} – номинална мощност на Вало генератора	1200 kW
Мощност на Валогенератора $P_{PTO} = 0,75 \times MCR_{PTO}$	900 kW
Мощност на ГД с Валогенератор $\sum P_{ME} = 0,75 \times (MCR_{ME} - P_{PTO})$	16183 kW
Период на плаване	292 дни (24 часа/ден)
Цена на горивото	\$ 600
Разходи за гориво (за система без валогенератор) $FC_2 = (P_{ME} \times SFC_{ME} + P_{AE} \times SFC_{AE}) \times h \times \$$	\$ 12 662 335
Разходи за гориво (за система с валогенератор при условие $0,75 \times P_{PTO} < P_{AE}$) $FC_1 = [(\sum P_{ME} \times SFC_{ME}) + ((0,75 \times P_{PTO}) \times SFC_{ME}) + ((P_{AE} - 0,75 \times P_{PTO}) \times SFC_{AE})] \times h \times \$$	\$ 12 109 824
Спестени средства за гориво (за година)	\$ 552 511

Валогенераторът генерира електрическа енергия като използва мощност, получена от ГД. Тази мощност се приспада от пълната пропульсивна мощност на ГД. Намалява консумацията на гориво, получават се по-ниски разходи, намаление на вредните емисии и съответно оптимизация на енергийната ефективност. Емисиите CO₂ са намалени и индекса се получава: EEDI = 17,775 [g CO₂/t.nm] (Фиг. 3.7 – Приложение 3)

АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНИЯ ПОТОК НА СПОМАГАТЕЛНИЯ КОТЕЛ

Спомагателният котел на кораба осигурява необходимата термична енергия и пара за битови нужди и подгряване на горивото.

• Определяне на ефективността

Термичният поток отделен от горивото има стойност:

$$Q_f = m_f \times C.V. = 0,064 \times 42700 = 2732,8 \text{ kW}$$

За изчисляване на полезното количество топлина Q_{Out} , се използва формулата:

$$m_s = 3600 \cdot Q_{Out} / h_e,$$

$m_s = 3000 \text{ [kg / h]}$ е отделения поток пара

$h_e = 2761,98 \text{ [kJ / h]}$ е специфичната енталпия на парата

$$Q_{Out} = \frac{3000 \text{ kg / h}}{3600} \cdot 2761,98 \text{ kJ / h} = 2301,65 \text{ kW}$$

Ефективността на котела се получава:

$$\eta, \% = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{Q_{Out}}{Q_f} = \frac{2301,65}{2732,8} \cdot 100 = 84,2\%$$

• Определяне на загубите

Пълната енергия получена от котела за една година има стойност:

$$E = 2732,8 \times 24 \times 73 = 4787,9 \text{ MWh}$$

Полезната енергия получена за година (73 дни/ 24 часа) има стойност:

$$E_B = 2301,65 \times 24 \times 73 = 4032,5 \text{ MWh}$$

Загубите се получават като разлика между пълната и полезната енергия:

$$E_{B/loss} = E - E_B = 4787,9 - 4032,5 = 755,4 \text{ MWh} \quad (3.36)$$

• Повишаване на енергийната ефективност

Полезното количество топлина от котела има стойност $Q_{Out} = 2301,65 \text{ kW}$, към тази енергия може да се добави и енергията на изходящите газове. Те представляват 7,64% от пълната енергия получена от горивото или $Q_g = 209 \text{ kW}$.

Пълната ефективност на котела при възстановяване на отпадната енергия се получава: $\eta_{tot}, \% = \frac{Q_{Out} + Q_g}{Q_f} = \frac{2510,65}{2732,8} \cdot 100 = 91,9\%$ (3.37)

Основните загуби на енергия в котела са термични загуби от повърхността на котела и от непълното изгаряне на горивото. Те могат да бъдат редуцирани чрез намаляване на излишния въздух или температурата на димните газове.

АНАЛИЗ НА ЕНЕРГИЙНИЯ ПОТОК НА СД

• Определяне на ефективността

За да се изчисли топлинната ефективност на спомагателните двигатели (СД) трябва да се определи количеството гориво консумирано за секунда m_f и термичния поток Q_f отделен от двигателя:

- за режим - плаване с работа на хладилни инсталации

Консумираното гориво за ден е: $FOC_{AE/S} = 19,1 \text{ [metr. t/day]}$

$$m_f = \frac{19,1}{24 \times 3600} \times 1000 = 0,221 \text{ kg / s}$$

За СД $C.V. = 42720 \text{ kJ/kg}$ (10200 kcal/kg)

$$Q_f = m_f \times C.V. = 0,221 \times 42720 = 9441,12 \text{ kW}$$

Пълната енергия получена от СД за година при този режим е със стойност:

$$E_{AE} = 9441,12 \times 24 \times 292 = 66163,4 \text{ MWh}$$

Изходната валова (полезна) мощност при този режим е $P_B = 3982 \text{ kW}$, термичната ефективност на СД се получава:

$$\eta_{BTh} = \frac{P_B}{Q_f} = \frac{3982}{9441,12} = 0,42$$

Полезната енергия има стойност:

$$E_{AE/S} = 3982 \times 24 \times 292 = 27905,8 \text{ MWh}$$

- **Определяне на загубите на енергия**

Загубите се получават като разлика между пълната и полезната енергия:

$$E_{AE_S/loss} = E_{AE} - E_{AE/S} = 66163,4 - 27905,8 = 38257,6 \text{ MWh}$$

($Q_{loss} = Q - Q_E = 9441,12 - 3982 = 5459,12 \text{ kW}$; $E_{loss} = 5459,12 \times 24 \times 292 = 38257,5 \text{ MWh}$)

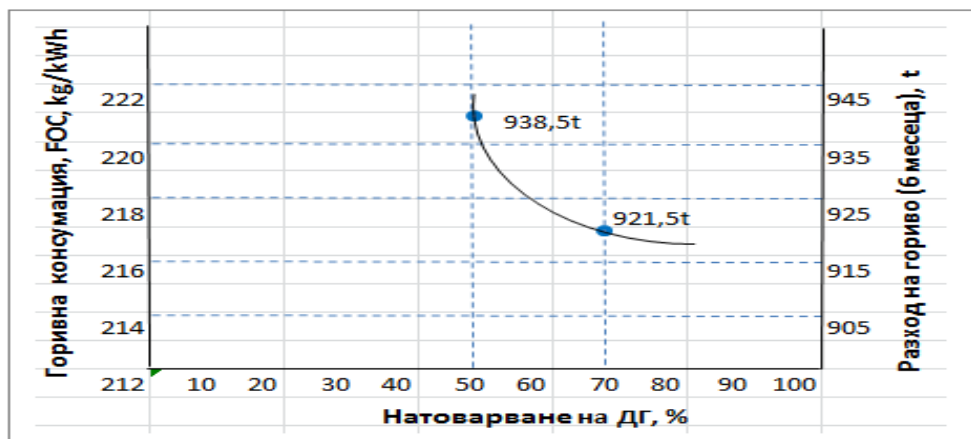
- **Повишаване на енергийната ефективност**

За обезпечаване на по-добро натоварване и по-ефективно използване на генераторите, те се включват в паралел, но работата на два дизел-генератора (ДГ) по време на плаване е свързана с по-висока консумация на гориво. Целесъобразно е натоварването на дизелгенераторите да бъде не по-малко от 80% от номиналната им мощност, за постигане на по-нисък разход на гориво и по-висок КПД.

Направено е сравнение и са изчислени спестявания, които се получават при повишаване на натоварването на двигателя. Например за плаване с продължителност 6 месеца, 24 часа на ден, консумирана мощност за режим плаване (без хладилни инсталации) 983kW, при 50% натоварване разхода на гориво се получава: $FOC = 180 \times 24 \times 221 \times 983 = 938,5t$

-при натоварване 75% разхода на гориво има стойност:

$$FOC = 180 \times 24 \times 217 \times 983 = 921,5t$$



Фиг.3.14

Спестеното гориво за режим плаване (без работа на хладилни инсталации) е 17t. ($FOC = 180 \times 24 \times 4 \times 983 = 17t$).

При цена на горивото \$600 стойността на очакваните спестени средства (за 6 месеца) е: $17t \times \$600 = \10200

- **Система за оползотворяване на отработени газове (WHR)**

Основните предимства на инсталирането на економайзери за изходящите газове от спомагателните двигателите са следните:

- намалява се количеството на отделяните вредни емисии
- получената пара (енергия) е на ниска цена
- периодът за изплащане на инвестицията е кратък (1 – 1 ½ година)
- осигурява се необходимата за консуматорите пара при престой в пристанище.

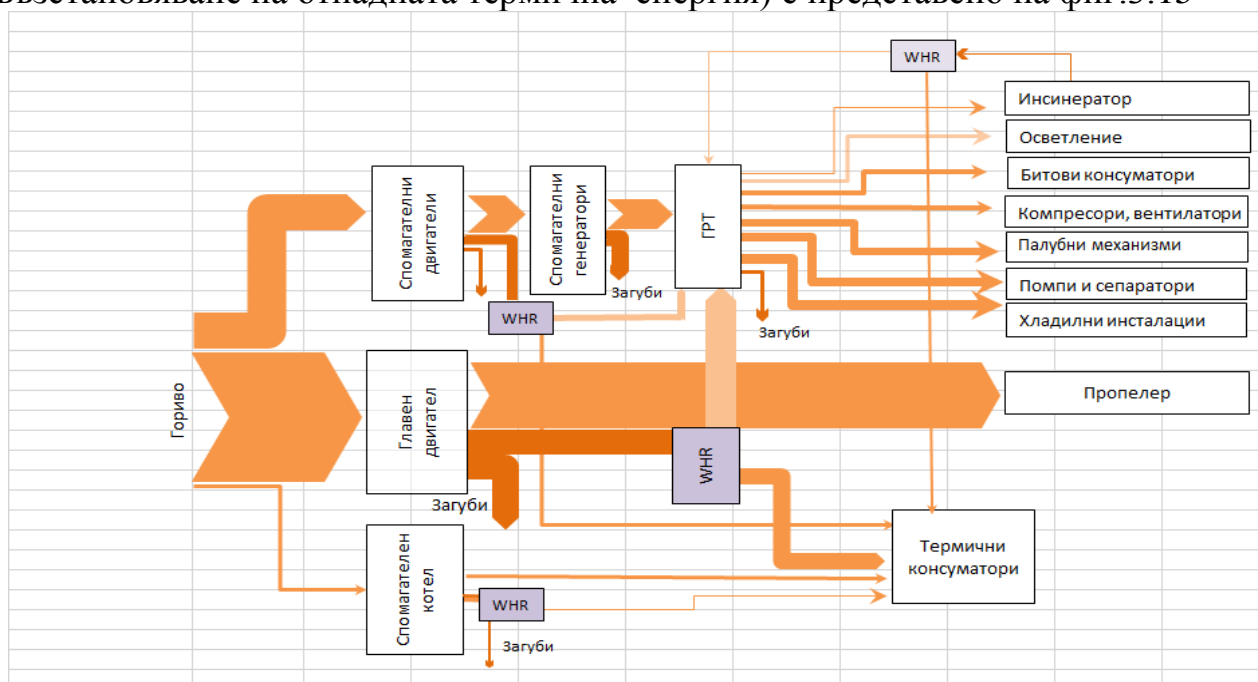
Термичната енергия на изходящите газове за разглеждания пример се получава:

$$Q_{us,g} = m_g \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out}) = \frac{12508,22}{3600} \cdot 1,014 \cdot (500 - 400) = 352,3kW$$

Количеството получена допълнителна термична енергия може да се увеличи, в зависимост от работния режим и броя работещи спомагателни двигатели.

Инсталирането на валогенератор и система за възстановяване енергията на изходящите газове (WHR) от ГД и СД на кораба ще осигури намаление на консумацията на гориво, емисиите CO₂ и съответно индекса се получава: EEDI = 17,775 [gCO₂/t.nm] (Фиг. 3.7 – Приложение 3) Полученият EEDI е на нивото за нови кораби построени след 01.01.2020г.

Разпределението на енергийните потоци за оптимизирана система (с възстановяване на отпадната термична енергия) е представено на фиг.3.15



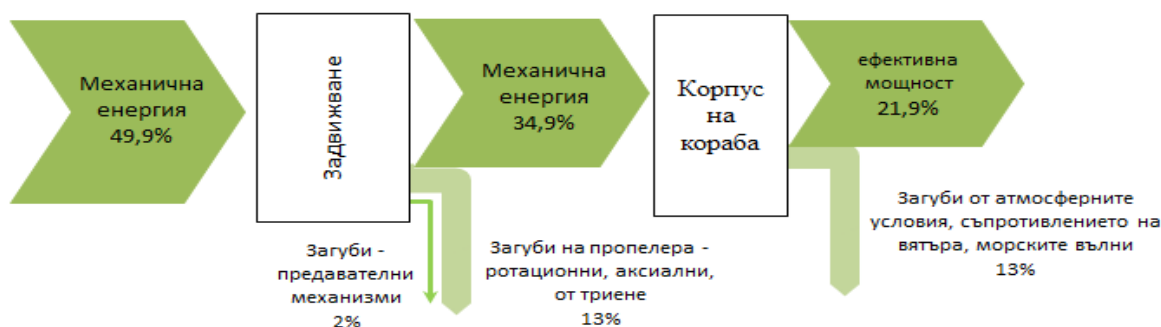
Фиг.3.15 “Sankey” диаграма на енергийната система с WHR

ЕНЕРГИЕН ПОТОК В КОНСУМАТОРИТЕ НА ЕНЕРГИЯ

ЗАДВИЖВАЩА ПРОПУЛСИВНА СИСТЕМА

Най-голям дял от енергията на горивото се изразходва за задвижване на кораба. Наличието на голям брой компоненти между първичните двигатели и пропелера определя големия размер на загубите. В първа глава от дисертацията са представени мерки за оптимизация на задвижващите системи. Основните дейности, които могат да спомогнат за повишаване на ефективността на задвижването включват: избор на оптимална дължина и подходяща форма на корпуса; приложение на валогенератор и система за възстановяване отпадната термична енергия (WHR); полиране на пропелера и почистване на корпуса; планиране на плаването и наблюдение на метеорологичните условия; приложение на система от противо-въртящи се витла и електрически задвижващ модул (CRP Azipod); намаление на експлоатационната скорост.

Визуализация чрез “Sankey” диаграма на енергийния поток през основния консуматор на енергия на борда на кораба – системата за задвижване е представена на фиг. 3.16.



Фиг.3.16

- **Повишаване на ЕЕ на задвижващата система**

Изследваният кораб се задвижва от двутактов, осем цилиндров, ниско скоростен дизелов двигател и пропелер с фиксирана стъпка (FPP). Съгласно законите на подобие мощността е пропорционална на скоростта на трета степен $P \sim n^3$ ($P \sim v^3$), следователно същото съотношение е валидно и за горивната консумация. За да се определи размера на спестяванията при оптимизация на скоростта се изчислява консумацията на гориво:

$$FOC = (P_{ME} \times SFC_{ME} + P_{AE} \times SFC_{AE}) \times h \times \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^3, \quad (3.39)$$

където $P_{ME} = MCR_{ME} \times LF = 22477 \times 0,75 = 16857,75$ е инсталираната мощност на ГД ($MCR_{ME} = 22477kW$; $LF = 75\%$ е натоварването на двигателя);

$P_{AE} = 1470 kW$ - мощност на СД (за режим плаване без работа на хладилни инсталации); SFC е специфичната горивна консумация на двигателя ($SFC_{ME} = 169 g/kWh$; $SFC_{AE} = 200 g/kWh$); h – работни часове (280 дни x 24 часа);

v_1 - номиналната (проектна) скорост; v_2 - редуцирана скорост;

- при проектна (100%) скорост – горивната консумация FOC_1 се получава:

$$FOC_1 = (16857,75 \times 0,000169 + 1470 \times 0,0002) \times 280 \times 24 \times (1,0)^3 = 21127,68t$$

При цена на горивото \$ 600 разходите за година за гориво са:

$$FOC = (P_{ME} \times SFC_{ME} + P_{AE} \times SFC_{AE}) \times h \times \$ \times \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^3 = \$12\,676\,608$$

- при работа с 80% от номиналната скорост се получава – горивната консумация FOC_1 се получава:

$$FOC_2 = (16857,75 \times 0,000169 + 1470 \times 0,0002) \times 280 \times 24 \times (0,8)^3 = 10817,4t$$

Разходите за гориво при намалена скорост за година са \$ 6 490 423,3.

Мощността е намалена наполовина $P_2 / P_1 = (v_2 / v_1)^3 = (0,8)^3 = 0,512$ и съответно и горивната консумация е намалена.

Спестените средства са в размер на \$ 6 186 184,7 за една година.

Намален е и размера на отделените вредни емисии:

$$\Delta CO_2 = C_F \times \Delta FOC = 3,1144 \times 10310,28 = 32110,3tCO_2,$$

където ΔCO_2 е размера на спестените въглеродни емисии

$\Delta FOC = FOC_1 - FOC_2 = 21127,68 - 10817,4 = 10310,28t$ - представлява спестеното гориво; $C_F = 3,1144 (t-CO_2/t-Fuel)$ за НФО е коефициент на преобразуване на емисиите CO_2

КОНСУМАТОРИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ

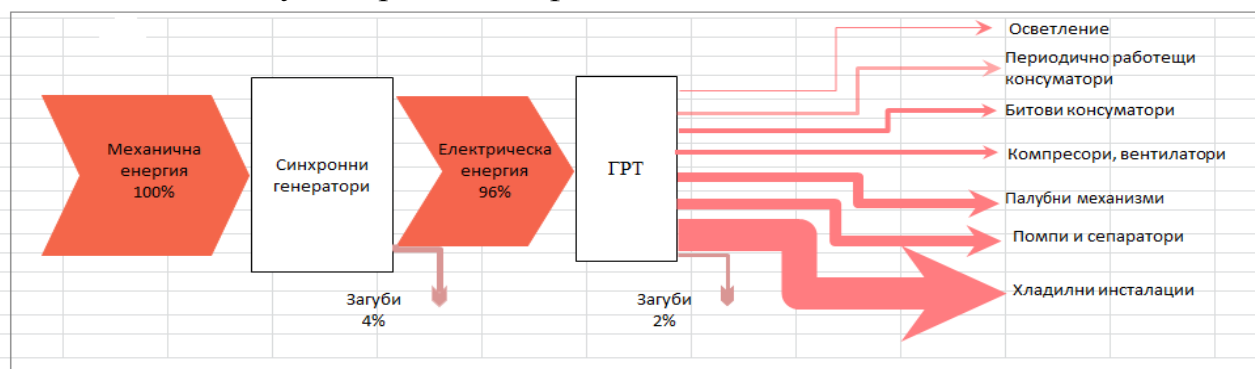
- Анализ на ефективността и загубите на енергия

Размера на енергийния поток, преминаващ (за 1 година) през отделните елементи на системата е посочен в таблицата:

Таблица 3.7

	Входящ енергиен поток	к.п.д.	Изходящ енергиен поток	Загуби
Ел.енергия от СГ	30905,3 MWh	0,962	29730,9 MWh	1174,4 MWh
ГРТ	29730,9 MWh	0,98	29136,3 MWh	594,6 MWh

За по-лесно идентифициране на областите, нуждаещи се от оптимизация се използва Sankey диаграмата на фиг. 3.17



Фиг. 3.17

Тя описва разпределението и големината на енергийния поток от източника, през средствата за предаване и разпределяне на енергия до консуматорите, както и загубите.

Разпределението на енергийния поток в консуматорите на електрическа енергия при режим - плаване с работа на хладилни инсталации е представено в таблицата.

Таблица 3.8

	Консуматори	Консумирана мощност	Входящ енергиен поток	Енергия изразена в проценти
1.	Помпи и сепаратори	373,1 kW	2614,7 MWh	9,4%
2.	Компресори, вентилатори и др. консуматори в МО	138,9 kW	973,4 MWh	3,5%
3.	Палубни механизми и вентилатори за товара	331,1 kW	2320,35 MWh	8,3%
4.	Хладилни инсталации за товара	2949,3 kW	20668,7 MWh	74%
5.	Битови консуматори	118 kW	826,94 MWh	3%
6.	Осветление	28,8 kW	201,83 MWh	0,7%
7.	Периодично работещи консуматори	43 kW	301,34 MWh	1,1%
	Пълна консумирана мощност	3982,2 kW	27907,3 MWh	100%

Основна част от електрическата енергия се консумира от хладилните инсталации, следват електрозавижващите системи на помпи и вентилатори. Тези консуматори са най-разпространени, те осигуряват нормалната работа на корабните механизми и системи и подходящи условия за работа на персонала.

- **Повишаване на ЕЕ на консуматорите на електрическа енергия**

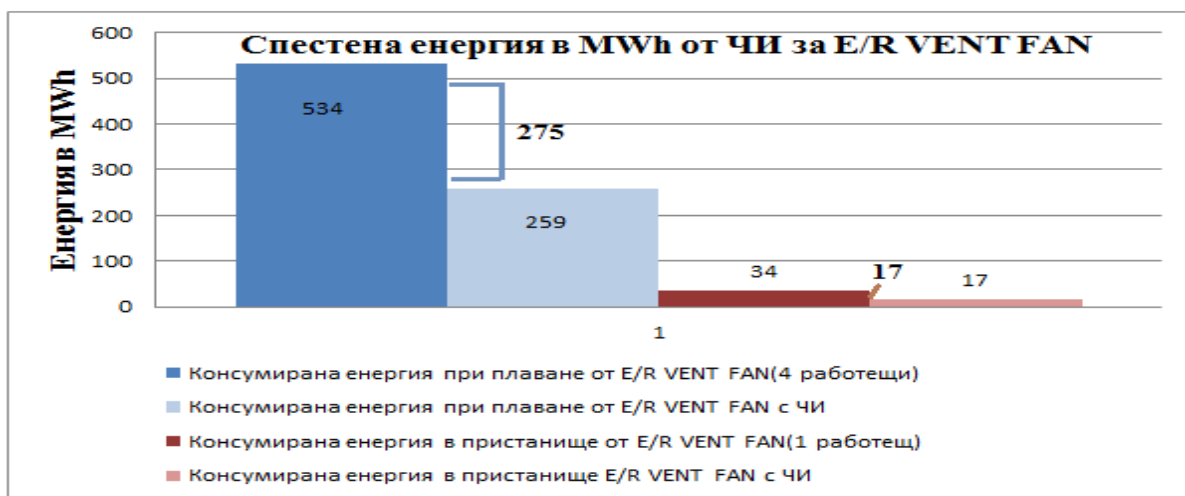
Основните дейности, които могат да спомогнат за повишаване на ефективността на консуматорите на електрическа енергия са следните:

- Подходящ избор на механизмите и двигателите за осигуряване на оптимално натоварване на електрозадвижването;
- Изключване на двигателите на ненатоварените машини и на трансформаторите работещи на празен ход или с малко натоварване;
- Внедряване на по-ефективни електродвигатели и преобразуватели на електроенергия;
- Подобрена експлоатация – извършване на регулярен мониторинг и поддръжка на двигателите;
- Ефективно управление на електрозадвижванията. Регулиране на скоростта - системи за управление с честотни преобразуватели;

Тъй като основните консуматори на електрическа енергия на кораба са електрозадвижващите системи с вентилатори, помпи и компресори, най-големи спестявания се получават при тяхното оптимизиране. В разглеждания контейнеровоз (2200 TEU) за вентилаторите в машинно отделение (E/R VENT FAN - 4бр.) се приема, че двигателите в 80% от времето работят със 70% от номиналната скорост (мощност 22 kW, КПД = 89% , Pк = 98,9 kW при 5400 работни часа). Използва се ЧИ (КПД = 98%) за регулиране на производителността на задвижването и енергията при частично натоварване се получава: $E_1 = 98,9 \times (0,7)^3 \times 5400 \times 1/0,98 \times 0,8 = 150 \text{ MWh}$

За останалите 20% от времето за работа се изчислява енергията при пълно натоварване: $E_2 = 98,9 \times (1,0)^3 \times 5400 \times 1/0,98 \times 0,2 = 109 \text{ MWh}$

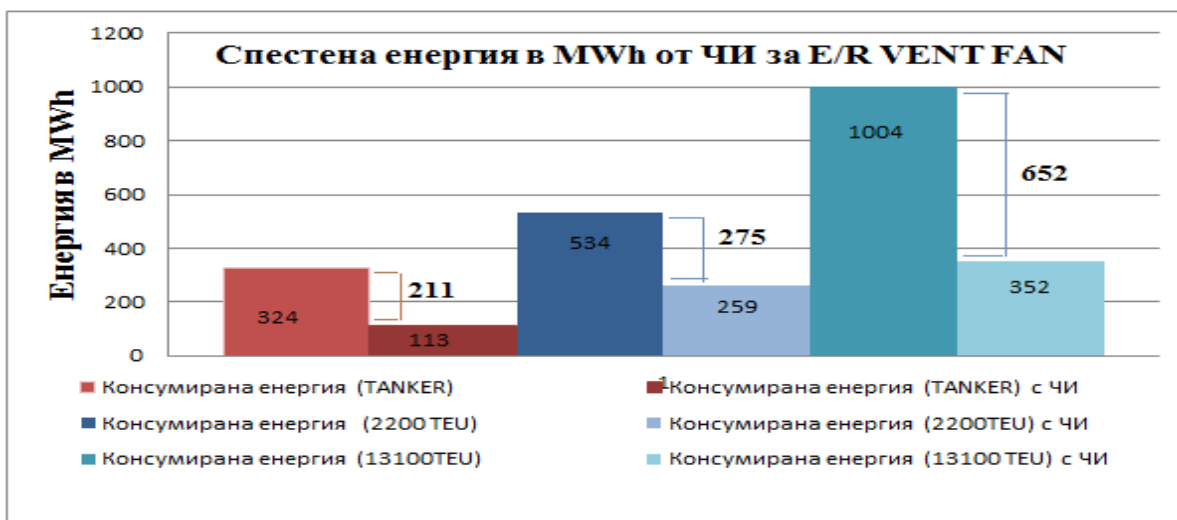
Сумират се двете съставки и се получава консумираната енергия при използване на ЧИ: $E_{\text{vsd}} = 259 \text{ MWh}$



Фиг. 3.20

Спестената енергия се получава като разлика между консумираната от задвижването енергия при пълно натоварване и с използване на ЧИ. Консумирана енергия без използване на ЧИ: $E = 98,9 \times 5400 = 534 \text{ MWh}$
 Спестена енергия: $E_s = E - E_{vsd} = 275 \text{ MWh}$

На фиг. 3.21 са представени спестяванията при използване на ЧИ за регулиране на задвижвания с вентилатори в машинно отделение при различен тип и размер кораби.



Фиг.3.21

ЕНЕРГИЕН ПОТОК ОТ ИНСИНЕРАТОРА

На кораба от инсинератора за утайки от горивото се отделя голямо количество отпадна топлина, която може да бъде използвана под формата на термична или електрическа енергия. За възстановяване енергията от инсинератора се използват системи с турбини или термоелектрически генератори, като целта е да се понижи цената на изходящата мощност. Инсталираният инсинератор на изследвания контейнеровоз има капацитет 500000 Kcal/h. Енергията, която може да се получи за час е в размер на 581.5 kWh. Тези инсталации имат голям потенциал като спомагателен източник на енергия, те могат да се използват за генериране на електрическа енергия, а количеството отпадна топлина обикновено може да задоволи всички нужди от термична енергия на борда - за подгриване на горивото, за отопление на помещенията и др.

Изводи към трета глава

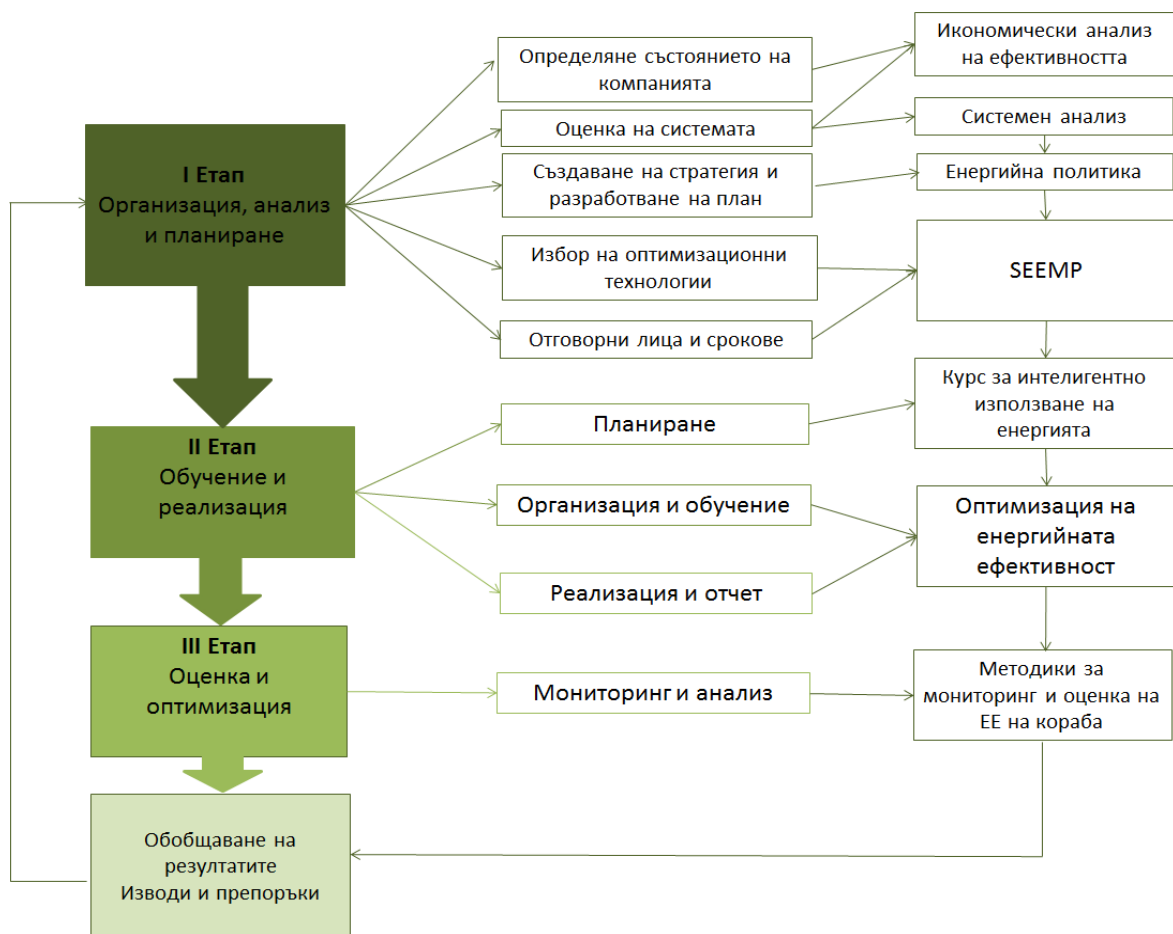
1. Създадена е класификация на методиките за изследване и повишаване на ЕЕ на кораба в зависимост от факторите влияещи върху ефективността.
2. Предложена е подобрена методика за изследване на енергийните потоци на кораба, анализ и оценка на енергийната интензивност в отделните подсистеми.

3. Предложен е интегриран подход за оптимизация на ЕЕ и опазване на околната среда. Създадена е информационна база за подробно изследване на системите на кораба и са посочени възможностите за спестяване на енергия и цялостна оптимизация на ефективността.

ГЛАВА IV. РАЗРАБОТВАНЕ НА СТРАТЕГИЯ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА КОРАБА. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА РЕАЛИЗАЦИЯ

Четвърта глава съдържа анализ на резултатите, обобщаване на представената в предходните глави информация. В съществуващите методики за анализ и повишаване на ЕЕ някои въпроси са недостатъчно разработени. Всички разгледани инструкции за енергийно обследване и методи за анализ и оптимизация могат да бъдат обединени в единна методика за управление и повишаване на енергийната ефективност.

Предложената методика може да се представи чрез диаграмата:



Фиг.4.1

4.1.1. Основни етапи на методиката

Първи етап – Организация, анализ и планиране

Този етап от методиката включва дейности със следната последователност:

- получаване на изходните данни;
- определяне на базовите параметри и разхода на енергийни ресурси;
- идентифициране на перспективите за изменение на технико – икономическите показатели и областите за които е необходимо по-детайлно изследване;
- сформирание на изследователски екип;
- разработване и утвърждаване на програма за работа при изследването;
- изследване на текущото състояние и перспективите за повишаване на ЕЕ на системата;
- определяне на възможните направления за оптимизация на ефективността и оценка на значимостта.

По време на първи етап се прилага комплексен анализ на функционирането на системата, който включва следните стъпки:

1. *Определяне състоянието на компанията* - анализ на ефективността и оценка на възможностите за развитие

2. *Оценка на системата*

Тази стъпка включва организиране и провеждане на енергийно обследване и оценка на работата на системата. Тя се състои от етапите:

2.1. *Събиране на документална информация*

Източниците на информация включват:

- 1/ Разговори с ръководството и техническия персонал;
- 2/ Техническа документация на технологичното оборудване;
- 3/ Товаровите графици на корабната електроцентраля;
- 4/ Данни за обема на превозените товари (производителност) и таксите;
- 5/ Отчетна документация от диагностика, ремонти и енергоспестяващи дейности;
- 6/ Проектна документация за управленски, технологични и експлоатационни дейности за подобряване на ЕЕ на кораба. План за оптимизация на ЕЕ.

2.2. *Събиране на данни чрез електроизмервателни прибори*

Методологията за провеждане на енергиен одит включва три етапа:

- а) Първи етап - включва оценка на необходимостта от енергоспестяване. Създава се информационна база – отчети, дейности, оборудване, разговори с екипажа.
- б) Втори етап – осъществява се разчет на енергийната консумация и определяне на загубите.

в) Трети етап – включва задълбочено изследване и анализ на енерготехнологичната система и разработка на стратегия за повишаване на ЕЕ.

Определя се експлоатационния профил на кораба – извършва се анализ на следните данни:

- консумацията на гориво и загубите на енергия – за главен, спомагателен двигател и спомагателен котел;
- мощност, ток, напрежение – изследване натоваването на КЕЕС, определяне на загубите на мощност;
- температура, налягане, дебит, време и др. – изследване работата на системите и оборудването.

2.3. Обработка и анализ на получената информация и определяне на подходящи мерки и препоръки за оптимизация на ЕЕ на кораба

Получената информация от техническата документация и от електроизмервателните прибори определя изходни данни, необходими за анализа на ЕЕ. Следва оценка на възможностите за енергоспестяване.

На този етап се уточняват целите и задачите на комплексния технико-икономически анализ. Извършва се анализ и комплексна оценка на:

- текущото състояние на системата;
- действието на факторите определящи ефективността;
- възможностите за енергоспестяване.

В резултат на анализа се формулират възможните варианти за повишаване на ЕЕ на кораба.

1. Създаване на стратегия, определяне на цели и разработване на план

На този етап получената информация от предходния относно най-оптималния вариант за приложение се превръща в система от мерки за осъществяване на поставените цели. Собствениците на корабни компании са насърчени да предприемат действия за повишаване на енергийната ефективност. Те трябва да разработят енергийна стратегия и SEEMP за всеки от корабите от флота си. Това ще осигури оптимизация на работните процеси и повишаване на рентабилността чрез ефективно използване на наличните активи и екипаж.

2. Избор на оптимизационни технологии

Тази дейност от процеса включва анализ и оценка на ефективността на внедрените организационно – технически средства и избор на насоки за ефективно използване на енергията. Осъществява се избор на критерии за оценка на ЕЕ. Основната част на SEEMP съдържа всички мерки, дейности за постигане на енергийна ефективност, мониторинг, запис и отговорния персонал. Анализират се различните варианти и се оценяват възможностите за приложение на иновативни технологии и практики, както и сроковете за изплащане на инвестициите.

5. Определяне на отговорни лица и срокове

В зависимост от компетентността и опита на служителите се разпределят отговорностите и се определят срокове за оптимизиране на енергийната ефективност. Ръководството на компанията, капитана и главния механик определят мерките, които могат да бъдат приложени, те осъществяват документиране и контрол. Ръководството въвежда мерките, капитана отговаря за представянето на енергийно ефективните мерки и практики на борда, а главния механик отговаря за приложението, мониторинга и документирането.

Втори етап – Обучение и реализация

Този етап от методиката включва три основни стъпки:

1. Планиране – определят се цели, прави се разчет на ресурсите – детайлно се описва последователността на осъществяване на проекта (отговорности, време за реализация и необходими действия).
2. Организация и обучение на служителите – Създава се структура и връзки между участниците в проекта - съгласуват се действията, определят се процедурите и се посочват изпълнители. Стимулира се изпълнението на плана за реализиране на проекта.
3. Реализация и отчет – Включва прилагане на оптимизационни мерки, отчет, контрол и регулиране на процесите за реализация на проекта. Осъществява се анализ и оценка на разхода на ресурси и сроковете за осъществяване на всички мерки.

Трети етап – Оценка и оптимизация

Основните дейности на този етап са осъществяване на мониторинг и анализ на ЕЕ. Анализира се икономическата ефективност и резултатите се представят на ръководството на компанията.

След осъществяване на трите основни етапа на методиката следва заключителен етап - **Обобщаване на резултатите, изводи и препоръки**, след което следва нов цикъл на изследване и оптимизация.

В зависимост от резултатите за получената оптимизация управленският екип на компанията взема решение за бъдещите действия относно подобряване на енергийната ефективност. Взетите решения и избраната стратегия се прилагат отново в следващия оптимизационен цикъл.

Изводи към четвърта глава

1. Предложена е обобщена методика за управление и повишаване на енергийната ефективност на кораба, която обединява всички необходими мерки и действия за прилагане на интегриран подход и постигане на цялостна оптимизация на ЕЕ.

2. Създадената информационна база може да се използва от морските компании при разработване на подход за управление на енергията и спестяване на средства.

3. Предложена е програма за курс за обучение на служителите за повишаване на осведомеността относно повишаване на ЕЕ на кораба.

ОСНОВНИ РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

Темата на дисертацията е значима и актуална, тъй като постигането на енергийна ефективност и опазване на околната среда са изключително важни проблеми за съвременния свят. В основата на дисертационния труд е концепцията за прилагане на интегриран подход и комплексно изследване на енергийните потоци в сложна техническа система, каквато е корабът. Предложена е методика за анализ на енергийните потоци в енергийната система. Оценява се работата на отделните подсистеми, определят се начините за подобряване на ЕЕ, което от своя страна означава икономия на енергия и респективно до ограничаване на еквивалентните въглеродни емисии.

Представената в изследването методика за управление на енергията и оптимизация на ЕЕ на кораба ще осигури повишаване на ефективността на използване на енергията (енергийната интензивност) и като следствие снижение на себестойността на транспортната дейност.

НАУЧНИ ПРИНОСИ

1. Предлаганият дисертационен труд представлява най-пълното и единствено на български език изследване по темата. Сравнението с подобни изследвания в други страни му дават предимство в това, че то включва в себе си въпроси, които в тях липсват.

2. Предложена е обобщена методика за управление и повишаване на ЕЕ на кораба, която обединява всички подходящи мерки и последователност от действия за енергийно обследване и постигане на цялостна оптимизация на ЕЕ.

3. Създадена е класификация на мерките за управление и повишаване на ЕЕ за различните корабни системи. Тя обединява различни технологични и експлоатационни мерки, които могат да бъдат приложени в зависимост от типа и експлоатационния режим на кораба.

4. Създадена е класификация на методиките за изследване и повишаване на ЕЕ на кораба в зависимост от факторите влияещи върху ефективността.

5. Предложена е методика за изследване на енергийните потоци на кораба, анализ и оценка на енергийната интензивност в отделните подсистеми и са посочени възможностите за спестяване на енергия и цялостна оптимизация на ефективността.

НАУЧНО ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Предложен е алгоритъм за повишаване на ЕЕ на КЕЕС, който обединява всички дейности за изследване на системата и подходящи мерки за повишаване на ЕЕ. Представен е оптимизиран подход за повишаване на ЕЕ на двигателите в електрозадвижващите системи.
2. Дисертационният труд може да се използва за създаване на пакет документи за провеждане на енергиен одит на различни морски съдове.

ОСНОВНИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Публикации в списания

1. **Katlieva E.**, Measures for improvement of energy efficiency of ships, Journal of Marine Technology and Environment - Vol. I, 2012, pp.59 ÷66, ISSN 1844-6116
2. **Katlieva E.**, Energy efficiency improvement of ship motor driven systems. high efficient motors and drives, Journal of Marine Technology and Environment - Vol. II, 2013, pp. 25 ÷ 32, ISSN 1844-6116

Публикации в университетски периодични издания

1. **Кателиева Е.**, Възможности за повишаване на енергийната ефективност на кораби, Научната трудове, ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", 2012г., стр. 123 ÷ 129, ISSN 1312-0867
2. **Кателиева Е.**, Повишаване на енергийната ефективност на корабни електрозадвижващи системи, Годишник на Технически Университет – Варна, Том I, Юбилейната научна международна конференция 50 години катедра ЕТЕТ на ТУ-Варна, ISSN 1311-896X, 2013, стр.100 ÷ 107

Публикации на международни конференции

1. Ангелов Н., **Кателиева Е.**, Енергийна ефективност във водния транспорт, Международна конференция “Устойчиви партньорства в Дунавския и Черноморския регион“, 2013