

ПРОЦЕС УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ НА СУДНАХ

Мазур Т.М.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія», старший викладач, здобувач ступеня доктора філософії

ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PROCESS ON VESSELS

Mazur T.

Danube institute National University «Odessa Maritime Academy», Senior Lecturer, Postgraduate Student PhD

Анотація

У статті розглянуто процес впровадження у судову практику та постійне покращення механізму, що сприяє підвищенню енергетичної ефективності судових операцій. Це дозволить більш раціонально використовувати енергетичні ресурси судна, зменшити споживання палива в ході виконання судових операцій, що, у свою чергу, скоротить викиди парникових газів в атмосферу, включаючи викиди CO₂, а також зменшить загальні витрати судноплавної компанії на енергетичні ресурси, підвищуючи цим її конкурентоспроможність.

Abstract

The article considers the process implementation in ship's practice and continuous improvement of mechanism to promote energy efficiency enhancement of ship operations. This will allow to use ship energy resources more efficiently, to reduce consumption of fuel in ship operations, which, in turn, will lead to reductions in greenhouse gas emissions, including CO₂ emissions, and in the overall cost of the shipping company's energy resources, thus enhancing its competitiveness.

Ключевые слова: енергетическая эффективность судна, эффективное использование энергетических ресурсов, Эксплуатационный коэффициент энергоэффективности (ЕКЕЕ), системи управління безпекою, звітні документи та записи.

Keywords: energy efficiency of ship, efficient use of energy resources, Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), safety management system, reporting documents and records.

Міжнародна морська організація (ІМО) у 2018 році розробила Стратегію скорочення викидів парникових газів. Одна з цілей цієї стратегії - це досягти зниження викидів на 40% до 2030 року порівняно з 2008 роком. Метою цього процесу має бути скорочення викидів парникових газів за рахунок підвищення енергоефективності суден і впровадження нових технологій палива [1].

Процес управління енергетичною ефективністю на суднах Компанії є невід'ємною частиною Системи управління безпекою (СУБ), що діє в Компанії і основна мета якої – виконання умов для

безпечної експлуатації суден та запобігання забруднення навколишнього середовища.

Енергетична ефективність представляє собою відношення або інший кількісний взаємозв'язок між отриманим результатом, що відноситься до виконання роботи, послуги, товарів або енергії, та енергією, що надійшла на вхід. В основі процесу управління енергоефективністю лежить безперервний цикл із наступних чотирьох етапів: планування, впровадження, моніторинг, оцінка та покращення (рис.1).



Рис. 1. Схема процесу управління енергоефективністю

Планування є найважливішим етапом у процесі управління енергоефективністю на судах. Енергетичне планування має узгоджуватися з енергетичною політикою судноплавної Компанії. Основними завданнями етапу планування є визначення поточного енергетичного статусу судна; затвердження цілей щодо енергоефективності судна; визначення та затвердження спеціальних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності судна [3].

При визначенні поточного енергетичного статусу судна компанія спільно з екіпажем судна має ідентифікувати наявні джерела енергії, на основі аналізу споживання енергії ідентифікувати обладнання, системи, процеси, персонал, фактори, які сильно впливають на споживання енергії та провести оцінку споживання енергії зараз і за минулі періоди часу.

Для постійного підвищення енергоефективності флоту та реалізації енергетичної політики, компанія щорічно визначає, аналізує та, за необхідності, коригує цілі в галузі енергетичної ефективності суден. Цілі енергоефективності можуть виражатися будь-яким зручним для компанії чином, наприклад, у вигляді певного значення річної витрати палива або експлуатаційного коефіцієнта енергоефективності (ЕКЕЕ) - Energy Efficiency Operational Indicator (ЕЕОІ). Цілі повинні бути простими, вимірюваними та сумісними з енергетичною політикою судноплавної компанії [2].

Заходи щодо енергоефективності повинні визначатися з урахуванням багатьох факторів, що впливають на можливість їх застосування та результативність. Серед таких факторів можуть бути техніко-експлуатаційні характеристики судна, вантажі, що перевозяться, райони плавання, склад і зношеність суднового обладнання та інші фактори. При виборі заходів з енергоефективності також повинні розглядатися існуючі в судноплавній галузі технології та практика щодо раціонального використання та економії енергетичних ресурсів.

Компанія визначає заходи щодо підвищення енергоефективності з урахуванням застосованих нормативних вимог природоохоронного законодавства, а також доступних їй матеріальних ресурсів. При визначенні заходів щодо підвищення енергоефективності аналізуються такі аспекти експлуатації судна, що впливають на його енергетичну ефективність: планування та опрацювання переходу, метеопроводка та морські течії, призначення швидкості ходу, ротація портів заходів судна, фрахтування, суднові операції в портах та на рейді, ходові характеристики судна, стан корпусу судна, стан гребного валу, управління бункеруванням судна, планування витрати бункера з відповідних танків, головні та допоміжні двигуни, ефективність (ККД) та коефіцієнт використання допоміжних двигунів і котлів, споживання енергоресурсів, вантажні операції, опалення, вентиляція та кондиціонування повітря, освітлення та інші споживачі електроенергії.

Підвищення енергетичної ефективності судових операцій залежить не лише від зусиль судно-

вого екіпажу. На цей процес впливають ряд учасників транспортної діяльності, серед яких: судновласники, оператори, фрахтувальники, вантажовласники, порти та служби управління рухом, судноремонтні заводи. Поліпшення взаємодії між цими учасниками, зрештою, сприяє раціональнішому витратанню судном енергетичних ресурсів. У багатьох випадках підтримка такої взаємодії лежить у зоні відповідальності берегового персоналу Компанії.

Після того, як заходи щодо підвищення енергоефективності будуть визначені та схвалені керівництвом, виконується низка заходів щодо їх впровадження у виробничу діяльність Компанії: призначення суднового та берегового персоналу, відповідального за впровадження та підтримання схвалених заходів щодо енергоефективності, розподіл відповідальності та повноважень такого персоналу; забезпечення виконання персоналом своїх функціональних обов'язків щодо підвищення енергоефективності на судах Компанії; виконання затверджених заходів відповідно до встановлених для них методів реалізації та критеріїв належного виконання; забезпечення доступу до інформації про найкращі практики та технології, що застосовуються в судноплаванні, спрямовані на енергозбереження [4].

На даному етапі також встановлюється порядок передачі та обміну інформацією та пропозиціями щодо енергоефективності між персоналом Компанії. Кожен співробітник Компанії може вносити зауваження та пропозиції щодо покращення процесу управління енергоефективністю: беручи участь у судових нарадах щодо системи управління безпекою (СУБ); під час проведення внутрішніх аудитів СУБ Компанії та судна; використовуючи встановлений у Компанії порядок передачі інформації про виявлені невідповідності та спостереження. Виконання схвалених заходів щодо енергоефективності має відображатися у відповідних записах, склад та порядок ведення яких встановлюється відповідальною особою в Компанії.

Для відображення досягнутих результатів та/або здійсненої діяльності з управління енергоефективністю на судах персонал Компанії використовує такі звітні документи та записи:

- добові судові повідомлення;
- щомісячні та рейсові судові звіти;
- звіти технічної служби судна щодо роботи судових механізмів та систем;
- звіти щодо судових нарад та перегляду СУБ судна;
- звіти з технічних інспекцій судна;
- звіти про щорічну оцінку енергетичної ефективності на судах Компанії;
- донесення про невідповідності та вжиті коригувальні / превентивні заходи;
- протоколи щодо нарад вищого керівництва з аналізу СУБ Компанії.

Етап систематичного моніторингу енергоефективності судна включає: збір оперативної інформації, що відноситься до енергоефективності судна; кількісний вимір ключових характеристик, що

визначають енергетичну ефективність з використанням схвалених інструментів моніторингу; періодичну перевірку, аналіз та оцінку поточного стану енергоефективності судна з урахуванням поставлених цілей.

Оперативна інформація, що стосується енергоефективності судна, включає, але не обмежується цим:

- добові донесення, щомісячні та рейсові звіти;
- записи в суднових журналах;
- звіти технічної служби судна щодо роботи суднових механізмів та систем;
- значення експлуатаційного коефіцієнта енергоефективності, інформацію щодо пройденої відстані, кількості та типу витраченого палива, перевезеного вантажу, кількості викидів;
- результати внутрішніх аудитів та технічних інспекцій судна;

- рейсові завдання, карти погоди;
- пропозиції персоналу, спрямовані на підвищення енергоефективності судна.

Енергоефективність судна має контролюватись кількісно, з використанням інструментів моніторингу, встановлених у Компанії. Компанія використовує як інструмент моніторингу ЕКЕЕ, який є міжнародно визнаним інструментом для визначення кількісного коефіцієнта енергоефективності судна в процесі експлуатації. Методика розрахунку даного коефіцієнту може бути заснована на рекомендаціях, наведених у Керівництві МЕРС.1/Circ.684, розробленому Міжнародною морською організацією (ІМО). Дані щодо кожного виконаного рейсу, необхідні розрахунку значень ЕКЕЕ, повинні регулярно заноситись старшим механіком до таблиці, встановленої форми (рис.2).

mtm MARINE TRANS MANAGEMENT		SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT		E-33		
COLLECTED DATA SUMMARIES						
Vessel	DORADO PLUS			* In the case of daily underlying data, this column would be left in blank.		
Date	31.12.2022					
Master	CHENG					
CHENG						
Data from dd/mm/yyyy	Data to * dd/mm/yyyy	Distance Traveled n.m	Hours underway hh:mm	Fuel Consumption		
				Diesel/Gas Oil MT	Light fuel oil (LFO) MT	Heavy fuel oil (HFO) MT
01.01.2022				0,69		
02.01.2022				0,6		
03.01.2022				0,62		
04.01.2022		0,8	1:30	0,73		
05.01.2022				0,58		
06.01.2022				0,62		
07.01.2022				0,58		
08.01.2022		87	11:15:00	1,66		2,17
09.01.2022		134,8	17:45:00	1,51		4,16
10.01.2022		221,8	24:00:00	0,68		6,88
11.01.2022		129,4	10:00:00	1,57		1,88
-----		-----		-----		-----
29.12.2022		2	1:45	0,86		
30.12.2022				0,61		
31.12.2022				0,64		
Total amount		32152,61	4290:17:00	312,121	0	876,25

Рис.2 Приклад оформлення внесення даних по рейсу старшим механіком

На основі цих даних автоматично визначаються значення коефіцієнта для кожного виконаного судном рейсу; числа рейсів, виконаних судном за календарний місяць, квартал, рік. Дані щодо баластових переходів, а також дані щодо переходів, не пов'язаних з перевезенням вантажу (наприклад, перехід судна до місця докування) повинні бути включені до таблиці розрахунку ЕКЕЕ [5].

Для визначення ЕКЕЕ, як правило, знадобляться такі основні кроки:

- визначити період, на який розраховується ЕЕОІ;
- визначити джерела для збирання даних;
- зібрати дані;
- конвертувати дані у відповідний формат;
- розрахувати ЕЕОІ.

Для одного рейсу розрахунок EEOI визначається як:

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D}$$

Де середній показник для всіх рейсів розраховується як:

$$\text{Average EEOI} = \frac{\sum_i \sum_j (FC_{ij} \times C_{Fj})}{\sum_i (m_{cargo,i} \times D_i)}$$

Де:

j – тип палива;

i – кількість рейсів;

FC_{ij} – маса спожитого палива **j** у рейсі **i**;

CF_j – маса (палива) CO₂ перетворена для кожного типу палива **j**;

m – вага перевезеного вантажу або виконаного рейсу (кількість TEU або пасажирів) або брутто-тонни для пасажирських суден; а також

D - відстань у морських милях, що відповідає перевезеному вантажу або виконаному рейсу.

Приклад розрахунку нижче (рис.3) ілюструє застосування формули з урахуванням звітних даних з т/х «Ocean Star», IMO 9165695.

Основні параметри судна приведені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Інформація про судно / Vessel particulars		
Довжина судна, м	144.8	Length overall, m
Ширина, м	24.00	Breadth, m
Висота борту, м	12.80	Depth, m
Осадка, м	9.10	Draught, m
Дедвейт, т	18485	Deadweight, t
Швидкість, вуз	15	Speed, kn
Тип ГД	B&W 8S35MC	Type ME
Потужність ГД, кВт	5590	Power, kWt

NAME AND TYPE OF SHIP						
Voyage or day (i)	Fuel consumption (FC) at sea and in port in tonnes				Voyage or time period data	
	Fuel type (HFO)	Fuel type (LFO)	Fuel type ()		Cargo (m) (tonnes or units)	Distance (D) (NM)
1	20	5			25,000	300
2	20	5			0	300
3	50	10			25,000	750
	10	3			15,000	150

$$EEOI = \frac{100 \times 3.114 + 23 \times 3.151}{(25,000 \times 300) + (0 \times 300) + (25,000 \times 750) + (15,000 \times 150)} = 13.47 \times 10^{-6}$$

Type of fuel	Reference	Carbon content	C _F (t-CO ₂ /t-Fuel)
1. Diesel/Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0.875	3.206000
2. Light Fuel Oil (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0.86	3.151040
3. Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0.85	3.114400
4. Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane Butane	0.819 0.827	3.000000 3.030000
5. Liquefied Natural Gas (LNG)		0.75	2.750000

Рис.3. Приклад розрахунку EKEE для тх «Ocean Star».

Значення EKEE за рейс(и) направляється у щомісячному судовому звіті Призначеній особі в компанії для порівняння зі значеннями коефіцієнта за попередні рейси, аналізу та, за необхідності, вироблення коригуючих заходів. Коригувальні заходи визначаються Призначеною особою спільно з капітаном, технічним та оперативним менеджером. Середньорічне значення EKEE використовується

Технічним менеджером та Призначеною особою під час виконання щорічної оцінки та аналізу енергоефективності судна.

Оцінка та покращення є фінальним етапом процесу управління енергоефективністю. Результати цього етапу є вступними даними для початку наступного циклу управління енергоефективністю

судна, а саме для першого етапу циклу - «Планування». Метою оцінки є визначення ступеня впровадження та ефективності схвалених енергетичних заходів. Оцінка дозволяє глибше зрозуміти:

- які показники суднових операцій впливають схвалені заходи як вони впливають з їхньої використання та ефективність;
 - які заходи можуть, чи можуть бути ефективними;
 - які заходи слід виконувати наступного року підвищення енергоефективності судна.
- У ході виконання оцінки використовуються:
- результати щорічної енергетичної перевірки судна, що виконується технічним менеджером;
 - результати внутрішніх перевірок СУБ судна та берега, що належать до енергоефективності;
 - судові донесення та звіти про судові наряди безпеки;
 - звіти технічної служби судна щодо роботи суднових систем та механізмів;
 - записи в суднових журналах;
 - результати перегляду/аналізу СУБ судна капітаном, які стосуються енергоефективності;
 - середньорічне та середньомісячні значення ЕКЕЕ, інформація про пройдену відстань, кількість і тип витраченого палива, кількість викидів та перевезеного вантажу;
 - звітні документи берегового персоналу, задіяного в управлінні енергоефективністю;
 - пропозиції персоналу компанії та членів екіпажу, спрямовані на підвищення енергоефективності судів;
 - інші дані, отримані внаслідок моніторингу енергоефективності судна.

Результатом щорічної оцінки енергоефективності судна є вироблені на наступний рік цілі та заходи щодо підвищення енергоефективності судна, підготовлені для подальшого затвердження вищим керівництвом Компанії, які вносяться до Звіту про оцінку енергетичної ефективності [6].

Заходи щодо підвищення енергоефективності на судах повинні враховувати тип, конструктивні особливості, райони плавання суден та фінансові потреби компанії, а саме:

- Модернізація клапанів головного двигуна. Паливні клапани золотникового типу спроектовані так, щоб обсяг палива, що залишається у форсунках, був мінімальний, коли клапан закритий. Крім того, вони оснащені спеціально розробленою форсункою, яка оптимізує розподіл палива в процесі його згоряння, дозволяє уникнути високих піків температури і тим самим зменшує утворення нагару і NO_x . Крім того, ці клапани оптимізують згоряння палива, ніж запобігають забрудненню двигуна. Скорочення викидів вуглеводнів та твердих частинок призводить до зменшення димоутворення. Двигун також виграє від зменшення забруднення поршнів, вихлопних клапанів та колектора. Викид NO_x зменшується і стає як у нових суден з покращеними характеристиками викидів.

- Оптимізація/контроль системи змащення циліндрів головного двигуна. Контрольоване скорочення споживання циліндрової олії відповідно до рекомендацій виробника може призвести до економії засобів, очищення двигунів та скорочення викидів (наприклад, система контролю за подачею олії в циліндри, де циліндрична олія дозується пропорційно відсотку сірки в паливі та навантаженні двигуна).

- Силіконове покриття гвинтів. Як альтернатива полірування гвинта, використання систем силіконових покриттів, покращує гладкість поверхні та гідродинамічну продуктивність гвинта.

- Використання відпрацьованого тепла. Технологія утилізації втрат тепла на даний час є комерційно доступною для суден. Ця технологія використовує теплові втрати вихлопних газів для виробництва електроенергії або додаткової потужності пропульсивної установки. Енергія може бути вилучена з вихлопних газів допоміжних двигунів. Використання енергії вихлопних газів може генерувати до 10% додаткової потужності, а ефективність пропульсивної установки може бути збільшена до 50-55% великих двотактних двигунів. Використання енергії вихлопних газів також можна використовувати на невеликих двигунах. Двоступінчастий турбонаддув можна розглядати як ще один засіб для отримання енергії та підвищення енергоефективності.

- Встановлення системи онлайн моніторингу діяльності судна. Встановлення обладнання та програмного забезпечення, яке дозволяє береговому персоналу компанії здійснювати моніторинг діяльності судна в режимі онлайн та забезпечити швидкий зворотний зв'язок на судно для оптимізації судових операцій.

Висновок. Багато заходів, описаних вище, залежать від районів плавання судна, віку судна та вартості палива в цих районах. Іноді судна змінюють райони плавання та відповідно змінюються умови договору морського перевезення, які не можуть бути загальними. Іншими словами, судна, що працюють у різних районах світового океану, можуть мати різні можливості та переваги при вжитті однакових заходів щодо енергоефективності. Цілком ймовірно, що деякі заходи матимуть більше чи менше значення при роботі судна у різних районах плавання. Тривалість рейсу для деяких суден також є важливим аспектом. В результаті цілком закономірно, що кожне судно має свою унікальну комбінацію заходів, яка буде для нього найбільш ефективною.

Список літератури

1. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78), Annex VI [Електронний ресурс] /–Режим доступу до ресурсу: <https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/publications/Documents/Supplements.pdf>
2. IMO resolution MEPC.282(70). Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan [Електронний ресурс] /–Режим доступу

до ресурсу: [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282\(70\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.282(70).pdf)

3. International Standard ISO 50001:2011 "Energy management systems – Requirements with guidance for use" [Электронный ресурс] /–Режим доступа до ресурсу: <https://www.iso.org/standard/51297.html>

4. International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (ISM Code) [Электронный ресурс] /–Режим доступа до ресурсу: <https://www.imo.org/en/ourwork/humanelement/pages/ISMCode.aspx>

5. IMO MEPC.1/Circ.684. Guidelines for voluntary use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI). [Электронный ресурс] /–Режим доступа до ресурсу: <https://gmn.imo.org/wp-content/uploads/2017/05/Circ-684-EEOI-Guidelines.pdf>

6. Mazur Tetiana. SHIP ENERGY EFFICIENCY MANAGEMENT PROCESS. [Электронный ресурс] /–Режим доступа до ресурсу: <https://dinuoma.com.ua/wp-content/uploads/2023/05/zbyrnyk210423.pdf>