

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ле Куок Тиен Email: Le1137@scientifictext.ru

*Ле Куок Тиен – кандидат технических наук,
навигационный факультет,
Вьетнамский морской университет,
г. Хайфонг, Социалистическая Республика Вьетнам*

Аннотация: в статье рассматриваются существующие методы и подходы к оценке эффективности судовых энергетических установок. Показано, что в основном применяются три критерия эффективности, разные по подходу и смыслу. По этим критериям была произведена оценка эффективности энергетических установок различных типов судов. По результатам оценки сделаны выводы и разработаны рекомендации по применению оценочных критериев при оценке эффективности судовых энергетических установок с целью обеспечения безопасности в эксплуатации.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, энергетический КПД, эксергетический КПД, эффективность.

STUDY METHODS OF EVALUATING EFFICIENCY OF MARINE POWER INSTALLATIONS TO ENSURE SAFETY DURING OPERATION

Le Quoc Tien

*Le Quoc Tien – Doctor of philosophy,
FACULTY OF NAVIGATION,
VIETNAM MARITIME UNIVERSITY,
HAI PHONG, SOCIALIST REPUBLIC OF VIETNAM*

Abstract: the paper presents existing methods and approaches to assess efficiency of marine power installations. It is shown that generally three criterion of the efficiency, and differences in approach and sense, are used. According to these criterion, the assessment of efficiency of power installations of various types of vessels has been made. According to the results of the assessment, conclusions have been made and recommendations on application of assessment criteria have been developed during the assessment of efficiency of marine power installations to ensure safety during operation.

Keywords: marine power installations, power efficiency, exergy efficiency, efficiency.

УДК 621.4

1. Введение

В настоящее время оценка энергетической эффективности судовых энергетических установок (СЭУ) на основе коэффициента их полезного действия в литературе практически не проводится, хотя приводятся и обсуждаются выражения для КПД СЭУ на основе различных подходов [1–10 и др.]. Эти КПД пока не позволяют ни оценить энергетическую эффективность СЭУ, ни сравнить эффективность СЭУ различного состава судов различного назначения.

В данной работе, во-первых, выполнен краткий анализ описанных в литературе методов оценки эффективности СЭУ по КПД и показаны возможности этих методов. Для дизельных СЭУ группы судов различного назначения (сухогрузные, танкеры, БМРТ, РТМ и др.) вычислены КПД по различным формулам и сделана попытка обобщения результатов на основе безразмерного параметра – «доля механической мощности СЭУ в общей мощности СЭУ».

Ставится также вопрос о необходимости дальнейшей разработки методов оценки эффективности СЭУ. Предлагается возможное направление работы на основе развития метода эксергетической оценки эффективности всех элементов СЭУ и установки в целом с использованием эксергетического КПД по выработке (производству) эксергии и эксергетического КПД по потреблению эксергии.

2. Методы оценки эффективности СЭУ

Как отмечено в [9], общепринятого показателя теплотехнического совершенства (экономичности) СЭУ в целом пока не существует. В связи с этим предпринимались попытки использовать для оценки эффективности СЭУ в целом эксергетический КПД, однако такой метод на практике не нашел применения.

На практике часто, как показатель энергетической эффективности СЭУ, используется удельный расход топлива на установку в целом, который удобен для оценки сравнительной эффективности данной

установки при работе на различных режимах в течение периода эксплуатации. Однако удельный расход топлива однозначно связан с КПД СЭУ, и поэтому вопрос о КПД установки остается актуальным.

Вопрос о КПД СЭУ обсуждается длительное время [2, 3, 9, 10 и др.]. Предлагаются в основном три вида КПД (записаны в наших обозначениях):

– КПД по полезной механической мощности:

$$\eta'_{\text{СЭУ}} = \sum W_{\text{СЭУ}} / Q_{\text{молл}}; \quad (1)$$

– КПД по сумме полезной механической мощности и вырабатываемой котлами тепловой мощности:

$$\eta''_{\text{СЭУ}} = (\sum W_{\text{СЭУ}} + Q_{\text{к}}) / Q_{\text{молл}}; \quad (2)$$

– КПД эксергетический:

$$\eta_{\text{ex.СЭУ}} = (\sum W_{\text{СЭУ}} + Q_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{ex.к}}) / Ex_{\text{молл}}. \quad (3)$$

Здесь $W_{\text{СЭУ}}$ – суммарная полезная мощность, вырабатываемая главными двигателями, двигателями судовой электростанции и другими приводными двигателями установки, кВт; $Q_{\text{молл}}$ – тепловая мощность тепловыделения при сгорании топлива всех видов во всех двигателях (см. выше) и котлах, кВт; $Q_{\text{к}}$ – полезная тепловая мощность всех котлов, кВт; $\eta_{\text{ex.к}}$ – эксергетический КПД котлов; $Ex_{\text{молл}}$ – эксергия топлива, сжигаемого в двигателях и котлах в единицу времени (мощность подводимого к СЭУ потока эксергии), кВт. Если установлены котлы с различными параметрами и эксергетическими КПД, то величина $Q_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{ex.к}}$ представляется в формуле (3) как сумма таких величин всех котлов.

Коэффициент полезной деятельности (1) по полезной механической мощности, очевидно, может служить показателем эффективности только данной СЭУ и только на сходных режимах эксплуатации.

Коэффициент полезной деятельности (2) по сумме полезной механической мощности и вырабатываемой котлами тепловой мощности также имеет частное применение, т.к. содержит в числителе сумму мощностей потоков различных видов энергии, получаемых в установке также и с различными энергетическими КПД.

Для обеспечения сопоставимости сопоставимости видов энергии, получаемых в СЭУ за счет сжигания топлива, может применяться эксергетический КПД по (3).

3. Результаты расчетов КПД СЭУ

Для оценки возможностей использования формул (1) – (3) по ним вычислены КПД СЭУ различного состава группы серийных судов различного назначения (сухогрузные, танкеры, БМТ, РТМ и др.) с дизельными установками средней мощности и с паровыми или водогрейными вспомогательными котлами в составе СЭУ. Эффективный КПД главных двигателей выбранных установок

находится в пределах 0,36–0,41. Эксергетический КПД вспомогательных котлов – 0,15–0,35. Использованы все известные характеристики установок этих судов (здесь не приводятся).

При расчете эксергетического КПД котлов, входящего в формулу (3), использованы данные из [4].

Основные данные об этих судах и их СЭУ:

– сухогрузное судно: грузоподъемность (ГП) 5 300 т, мощность главных двигателей (ГД) 1 440 кВт, мощность двигателей электростанции (ДЭС) 220 кВт, вспомогательный водогрейный котел (ВВК) КОАВ-68 с тепловой производительностью 79 кВт;

– сухогрузное т. судно: ГП – 5 000 т, ГД – 1 325 кВт, ДЭС – 220 кВт, ВВК КОАВ-200 – 233 кВт;

– сухогрузное судно: ГП – 2 700 т, ГД – 972 кВт, ДЭС – 118 кВт, ВВК КОАВ-68 – 79 кВт;

– сухогрузное судно: ГП – 2 000 т, ГД – 970 кВт, ДЭС – 192 кВт, ВВК КОАВ-200 – 233 кВт;

– сухогрузное судно: ГП – 1 700 т, ГД – 1 030 кВт, ДЭС – 192 кВт, ВВК – 164 кВт;

– танкер: ГП – 3 000 т, ГД – 736 кВт, ДЭС – 88 кВт, вспомогательный паровой котел (ВПК) КВВ – 1/5 × 2,117 кВт;

– танкер: ГП – 2 800 т, ГД – 736 кВт, ДЭС – 60 кВт, ВПК – 158,3 кВт;

– танкер: ГП – 2 150 т, ГД – 970 кВт, ДЭС – 110 кВт, ВВК КОАВ-68 – 79 кВт;

– танкер мелкосидящий: ГП – 1 000 т, ГД – 590 кВт, ДЭС – 140 кВт;

– рефрижераторный теплоход: ГП – 500 т, ГД – 590 кВт, ДЭС – 220 кВт, ВВК – 105 кВт;

– рефрижераторный теплоход: ГП – 200 т, ГД – 440 кВт, ДЭС – 118 кВт;

– большой морозильный рыболовный траулер: ГД – 1 472 кВт, ДЭС – 971 кВт, ВПК – 2 278 кВт;

– большой морозильный рыболовный траулер: ГД – 1 472 кВт, ДЭС – 815 кВт, ВПК КВС-30/2-А – 2 320 кВт;

– морозильный рыболовный траулер: ГД – 986 кВт, ДЭС – 912 кВт, ВПК «Вагнер- Хохдрук» – 887 кВт;

– морозильный рыболовный траулер: ГД – 1 708 кВт, ДЭС – 920 кВт, ВПК «Вагнер» – 1 404 кВт;

– средний рыболовный траулер: ГД – 590 кВт, ДЭС – 294 кВт, ВПК КВА-0,5/5 – 292 кВт;

– промыслово-производственный рефрижератор: ГД – 2 280 кВт, ДЭС – 1 125 кВт, ВП В&W – 1 663 кВт;

- промышленно-производственный рефрижератор: ГД – 3 675 кВт, ВПК 2 × КВВА 2,5/5, 2 – 905 кВт;
- промышленно-производственный рефрижератор: ГД – 2 208 кВт, ДЭС – 1 540 кВт, ВПК АQ-3 – 2 475 кВт;
- рыбообрабатывающая мучная база: ГД – 6 624 кВт, ВПК КВГ-34К – 31 893 кВт.

Результаты расчетов представлены по каждому КПД отдельно на рис. 1–3. В качестве аргумента применен безразмерный параметр – «доля механической мощности СЭУ в общей мощности СЭУ» (см. также пояснения к формулам (1)–(3). На рисунках видно, что зависимости каждого из рассматриваемых КПД от введенного безразмерного параметра вполне обобщаются с допустимой погрешностью.

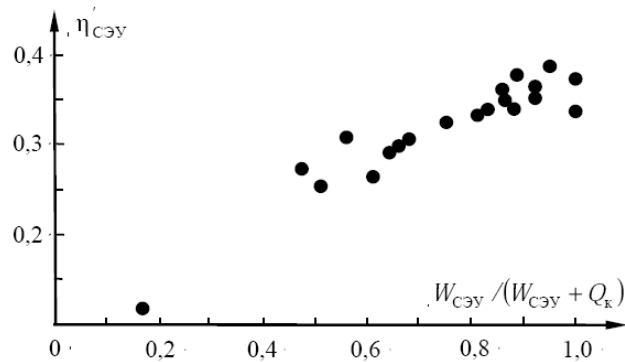


Рис. 1. Зависимость КПД СЭУ $\eta'_{СЭУ}$ судовых энергетических установок от доли механической мощности в общей мощности СЭУ

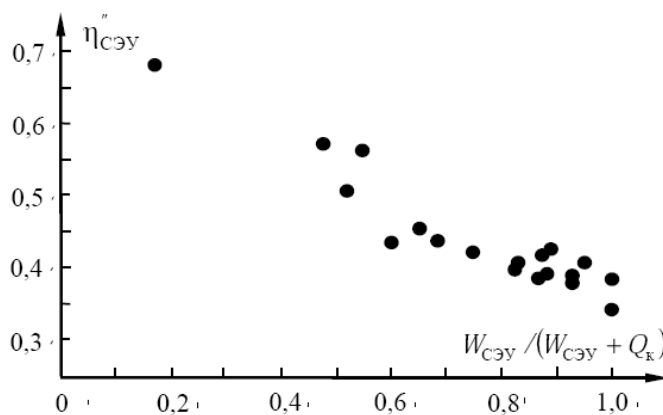


Рис. 2. Зависимость КПД СЭУ $\eta''_{СЭУ}$ судовых энергетических установок от доли механической мощности в общей мощности СЭУ

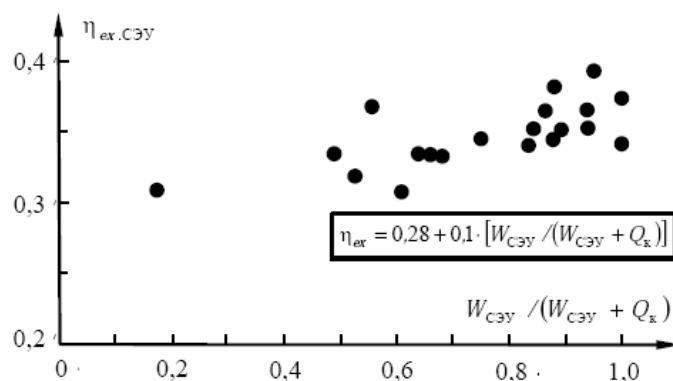


Рис. 3. Зависимость эксергетического КПД судовых энергетических установок от доли механической мощности в общей мощности СЭУ

Однако характер этих зависимостей различен и вряд ли подтверждает приемлемость формул (1)–(2) для сравнительной оценки различных СЭУ. Зависимость этих КПД от параметра вполне объяснима и в интервале его значений от 0 до 1 соответствует условиям:

$$\eta_{СЭУ} \leq \eta_d; \eta_d \leq \eta_{СЭУ}^* < \eta_k; \eta_{EX.K} < \eta_{EX.СЭУ} \leq \eta_d. \quad (4)$$

где η_d – усредненный эффективный КПД, двигателей СЭУ; η_k – обычный «тепловой» КПД вспомогательного котла (котлов); $\eta_{EX.K}$ – эксергетический КПД котла (котлов).

Зависимости на рисунках обобщаются формулами:

$$\begin{aligned} \eta_{СЭУ} &= 0,43[W_{СЭУ} / (W_{СЭУ} + Q_K)]; \\ \eta_{СЭУ}^* &= 0,75 - 0,4[W_{СЭУ} / (W_{СЭУ} + Q_K)]; \\ \eta_{EX.СЭУ} &= 0,285 + [W_{СЭУ} / (W_{СЭУ} + Q_K)]. \end{aligned} \quad (5)$$

Развитие метода оценки эффективности СЭУ возможно путем совершенствования и развития понятия эксергетического КПД установки. Это направление достаточно развито применительно к оценке эффективности стационарных теплоэнергетических установок (ГЭС, ТЭЦ и др.), имеющих, по сравнению с СЭУ, более сложные тепловые схемы, сложный состав оборудования, большие мощности [1].

Определенное развитие метода возможно на основе работы [5]. Используется общее выражение для эксергетического КПД:

$$\eta_{ex} = \sum Ex_{полезн} / \sum Ex_{затр}. \quad (6)$$

Вводятся также понятия «КПД СЭУ по выработке эксергии» и «КПД по потреблению эксергии».

Эксергетический КПД СЭУ по выработке (производству) эксергии за счет эксергии топлива (топлив):

$$\sum_{ex}^{np} = \left(\sum_1^m Ex_{топл}^{np} + \sum_1^n Ex_{мех}^{np} \right) / \sum_1^{\min} Ex_{топл}. \quad (7)$$

где в числителе первый член – сумма эксергий потоков рабочих веществ на выходе из источников тепловой энергии, второй – сумма эксергий на выходе источников механической энергии (в данной записи сюда включены и источники электрической энергии; при необходимости точного анализа последние могут быть записаны в виде отдельного слагаемого в числителе); в знаменателе – сумма эксергий потоков топлива на входе во все источники энергии в СЭУ. Для каждого источника энергии необходимо вычислить его эксергетический КПД η_{ex}^{np} , и тогда для любого источника $Ex^{np} / \eta_{ex}^{np} = Ex_{топл}$, а в целом по СЭУ выполняется условие:

$$\sum_1^{\min} Ex_{топл} = \sum_1^m (Ex_{топл}^{np} / \eta_{ex,топл}^{np}) + \sum_1^m (Ex_{мех}^{np} / \eta_{ex,мех}^{np}) \quad (8)$$

Эксергетический КПД СЭУ по потреблению эксергии:

$$\eta_{ex}^{nomp} = \sum_1^p Ex_{полезн}^i / \sum_1^{\min} Ex_{топл}, \quad (9)$$

где $\sum_1^p (Ex_{полезн}^i)$ – сумма полезных эксергий на выходе из всех потребителей энергии; p – количество потребителей; очевидно – $p \gg (m + n)$, т. е.

$$Ex_{полезн}^i = Ex_{выход}^i, Ex_{полезн}^i = Ex_{выход}^i \cdot \eta_{ex}^i, \quad (10)$$

где η_{ex}^i – эксергетический КПД i -го потребителя энергии. При точном анализе должны быть учтены все потери эксергий на участках между источниками и потребителями всех видов энергии. Очевидно, что $\eta_{ex}^{nomp} < \eta_{ex}^{np}$.

Расчеты эксергетических КПД, выполненные на основе эксплуатационных данных по СЭУ, позволяют составить таблицы и диаграммы потоков эксергии, определить эффективность всех элементов СЭУ и установки в целом. Аналогичные расчеты необходимо выполнять на стадии проектирования для номинального и всех характерных режимов работы СЭУ.

4. Заключение

- Для оценки энергетической эффективности СЭУ в литературе описаны несколько видов КПД СЭУ. При этом все они построены по принципу отношения полезного энергетического эффекта к энергии затраченного топлива в СЭУ.

- Недостатком указанных в п. 1 КПД СЭУ является то, что в числителе суммируются различные виды энергии: механическая и тепловая. Использование вместо тепловой энергии ее эксергетического эквивалента меняет численное значение КПД СЭУ, но не меняет существенно содержания понятия КПД.

- Выполненный в данной работе анализ числовых значений различных видов КПД дизельных СЭУ разных типов судов показал, что они зависят от одного параметра – доли механической мощности в общей (механической и тепловой) мощности СЭУ.

- Если не менять принцип построения КПД СЭУ (пп. 1, 2), то более приемлемым можно считать эксергетический КПД СЭУ.

- Показано, что необходимо уточнить содержание понятия «эксергетический КПД СЭУ», например, на основе эксергетических КПД по выработке и потреблению эксергии.

Список литературы

1. *Андрющенко А.И.* Методы системных термодинамических исследований в теплоэнергетике. – Саратов: СГТУ, 1996. 98 с.
2. Судовые энергетические установки / Г.А. Артемов, В.П. Волошин, Ю.В. Захаров, А.Я. Шквар. Л.: Судостроение, 1987. 480 с.
3. *Голубев Н.В.* Проектирование энергетических установок морских судов. Л.: Судостроение, 1980. 312 с.
4. *Данилов В.С., Ильин А.К.* Эксергетический КПД судовых паровых котлов // Рабочие процессы в теплоэнергетических установках. Владивосток: ДВО РАН, ДВНЦ АН России, 1993. С. 49–56.
5. *Ильин А.К., Данилов В.С.* Об оценке термодинамического совершенства СЭУ // Эффективность элементов СЭУ. Владивосток: ДВГМА, 1994. С. 14–16.
6. *Ильин Р.А.* Алгоритм оценки эффективности при создании и использовании теплоэнергетических установок различных видов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология, 2010. № 2. С. 79–82.
7. *Ильин Р.А.* Комплексная термодинамическая оценка эффективности теплоэнергетических установок: учеб. пособие. М.: НИУ (МЭИ), 2011. 80 с.
8. *Ильин Р.А.* Особенности совместной работы судовых двигателей внутреннего сгорания и утилизационных котлов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология, 2011. № 3. С. 101–105.
9. *Коришонов Л.П.* Энергетические установки промышленных судов. Л.: судостроение, 1991. 360 с.
10. *Курзон А.Г., Юдовин Б.С.* Судовые комбинированные энергетические установки. Л.: Судостроение, 1981. 216 с.