

УДК 621.458

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

**А.В. Тымкив**  
аспирант

*НУ «Одесская морская академия»*

**Аннотация.** Рассмотрен метод оценки эффективности технической эксплуатации судовой энергетической установки с учетом преобразования энергии топлива в транспортную работу по перемещению грузов. Общая схема цепи энергообеспечения и энергоиспользования, проходящих в судовой энергетической установке, выполнена в виде графа. Рассмотрены варианты определения коэффициента полезного использования энергии, приведены зависимости, позволяющие определить значения подведенной, использованной и потерянной энергии при ее генерации и превращении в полезную работу.

**Ключевые слова:** судовая энергетическая установка, техническая эксплуатация, генерация энергии, использование энергии, полезная работа.

УДК 621.458

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
СУДОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ**

**О.В. Тимків**  
аспірант

*НУ «Одеська морська академія»*

**Анотація.** Розглянуто метод оцінки ефективності технічної експлуатації судової енергетичної установки з урахуванням перетворень енергії палива в транспортну роботу по переміщенню вантажів. Загальна схема ланцюга енергозабезпечення та енерговикористання, що проходять в судової енергетичної установки, виконана у вигляді графа. Розглянуті варіанти визначення коефіцієнта корисного використання енергії, наведені залежності, що дозволяють визначити значення підведеної, використаної та втраченої енергії при її генерації і перетворенні в корисну роботу.

**Ключові слова:** суднова енергетична установка, технічна експлуатація, генерація енергії, використання енергії, корисна робота.

UDC 621.458

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE TECHNICAL  
OPERATION OF THE SHIP POWER PLANT**

**Timkiv O.**  
graduate student

*NU «Odessa Maritime Academy»*

***Annotation.** The method for evaluating the efficiency of technical operation of the ship power plant with regard to the conversion of energy of fuel into transport work on the movement of goods is considered. The general scheme of the chain of energy supply and energy use, passing in the ship power plant, is made in the form of a graph. The options for determining the coefficient of useful energy use are considered, the dependences are given, which allow determining the values of the summed, used and lost energy in its generation and turning into useful work.*

***Keywords:** ship power plant, technical maintenance, power generation, energy use, useful work.*

**Постановка проблемы в общем виде.** Повышение интенсивности использования судов и ужесточение требований к безопасности привело к значительному увеличению расходов на техническую эксплуатацию (ТЭ) и ремонт судовой энергетической установки (СЭУ). Решение задач по ТЭ СЭУ неразрывно связано с одновременным диагностированием и предотвращением возможных отказов; прогнозированием остаточного ресурса; оптимизацией сроков и объемов технического обслуживания и ремонта судовых технических средств (СТС); учетом характеристик группы судов конкретной судоходной компании (тип судна, возраст, район плавания и т.д.). В свою очередь, это требует разработки новых методов, форм и средств оценки эффективности технической эксплуатации судовой энергетической установки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Обзор данных об исследованиях, связанных с оценкой эффективности энергопотребления СЭУ, показывает, что такие оценки, как правило, базируются на показателях энергоиспользования и совершенно не учитывают расходы на восстановление после внезапных отказов. При этом как количественные оценки, так и основанные на них выводы оказываются не всегда корректными, особенно при обосновании перспективности использования тех или иных видов энергоносителей [1].

Более плодотворным представляется рассмотрение всей последовательности преобразований энергии в технологических процессах энергообеспечения и энергоиспользования – от добычи или потребления первичного источника энергии до ее преобразования в транспортную работу по перемещению грузов или пассажиров с помощью конкретного транс-

портного средства и поддержания экологической безопасности судна [2; 3].

При таком подходе целесообразно использовать понятие энергетической цепи [4] как последовательности взаимосвязанных процессов преобразования энергии. Под преобразованием энергии в этом случае предлагается понимать как изменение количества или качества энергии одного вида, так и ее превращение из одного вида в другой.

Каждая энергетическая цепь (ЭЦ), как правило, состоит из начального, промежуточных и конечного звеньев. Однако возможен и реальный случай воплощения ЭЦ в единственное звено, объединяющее все процессы энергообеспечения и энергоиспользования. Примером такого случая может служить объемный гидропривод [5].

**Постановка задачи.** В соответствии с вышеизложенным, целью работы являлось разработка метода расчета и анализа эффективности технической эксплуатации СЭУ на базе энергетических цепей, обеспечивающих технологический процесс получения полезной работы.

**Изложение основного материала исследования.** В зависимости от целей исследования могут рассматриваться как единичные энергетические цепочки, имеющие одно начальное и одно конечное звено, так и более сложные комбинации. Их моделирование целесообразно осуществить в виде ориентированного графа. Вершинами такого графа являются процессы преобразования и передачи энергии; конечной вершиной – движитель судна. Множество вершин разбивается на объединения непересекающихся подмножеств, которые назовем уровнями. Эти уровни соответствуют данной энергетической цепи. В общем случае в число уровней могут входить добыча природного сырья (энергоисточника, энергоносителя); транспортировка природного сырья; переработка природного сырья; транспортировка энергоносителя; преобразование видов энергии; передача (транспортировка) энергии и так далее [6].

На одном уровне располагаются вершины, отражающие одноименные преобразования энергии и принадлежащие различным вариантам энергетических цепей. Общая схема цепи энергообеспечения и энергоиспользования данного элемента транспортной системы изображена в виде графа на рис. 1.

Как видно из рис. 1, этот граф имеет одну конечную вершину (находящуюся на нулевом уровне) и  $m$  начальных вершин.

Число уровней на графе, равное  $m$ , определяется максимальным количеством процессов передачи и преобразования энергии в рассматриваемых энергетических цепях.

В процессе моделирования на графе используется функция, которая определена только в вершинах графа и принимает численные значения, т.е. не рассматривается зависимость функции от ребер, соседних вершин и вершин, инцидентных данному ребру.

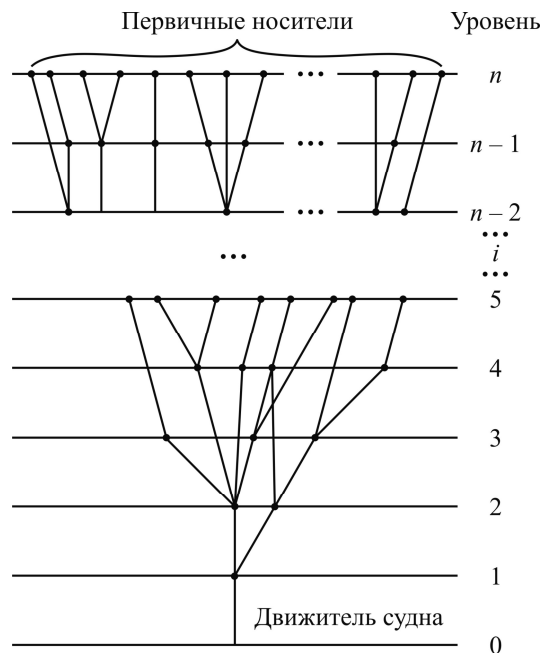


Рис. 1. Граф энергетической цепи транспортного средства

Преобразование совокупности возможных вариантов энергетических цепей в виде графа дает возможность сравнения их коэффициентов полезного использования энергии (КПИ), расчета потребных масс энергоносителя и экономических показателей [7].

Под коэффициентом полезного использования энергии цепи предлагается понимать отношение

$$\eta_{\text{эц}} = \frac{U_0}{U_N},$$

где  $U_0$  – полезная энергия двигателя;

$U_N$  – общее количество энергии, необходимое для подачи  $U_0$  к потребителю.

При анализе вариантов цепей для них сначала производится построение графа описанного вида, а затем для выделенных цепей или их участков – расчет параметров процессов преобразования энергии.

Расчет параметров энергетических цепей проводится следующим образом.

Для энергетической цепи с одним источником энергии (т.е. с одной начальной вершиной).

Для обеспечения потребителя энергией  $U(A_0)$  (где  $A$  – название начальной вершины рассматриваемой цепи) к предыдущей вершине необходимо подвести энергию  $U(A_1)$

$$U(A_1) = \frac{U(A_0)}{\eta(A_1)},$$

где  $\eta(A_1)$  – КПИ энергии  $U(A_1)$ .

Аналогично для  $i$ -ой вершины цепи (при условии  $1 < i < N(A)$ , где  $N(A)$  – уровень начальной вершины) для перехода с  $i$ -го уровня на  $i-1$ -й

$$U(A_i) = \frac{U(A_{i-1})}{\eta(A_i)}.$$

В ряде процессов преобразований и передачи энергии, таких, как переработка, транспортировка энергоносителя и других, потери энергии задаются абсолютной  $\Delta(A_i)$

$$\Delta(A_i) = U(A_i) - U(A_{i-1}) \quad (1)$$

или относительной  $d(A_i)$  величиной затрат

$$d = \frac{\Delta(A_i)}{U(A_i)}. \quad (2)$$

В этом случае вычисление осуществляется по формулам

$$\eta(A_i) = 1 - d(A_i), \quad U(A_i) = \frac{U(A_{i-1})}{1 - \delta(A_i)}.$$

Общие потери энергии при ее передаче по цепи « $A$ » составят

$$\Delta(A) = \sum_{i=1}^{n(A)} \Delta(A_i)$$

Если на каком-либо уровне  $i$  потери заданы в виде КПИ, то абсолютная величина потерь рассчитывается по формулам (1) и (2).

В тех случаях, когда на графе рассматриваемой цепи отсутствуют промежуточные вершины каких-либо уровней, то на этих уровнях вводятся «условные» вершины, затраты или потери энергии в которых  $\Delta_{\text{усл}}$  и  $\delta_{\text{усл}}$  отсутствуют

$$\Delta_{\text{усл}} = 0, \quad \delta_{\text{усл}} = 0, \quad \eta_{\text{усл}} = 1.$$

Кoeffициент полезного использования энергии данной цепи вычисляется по формулам

$$\eta_{\text{эл}} = \frac{U(A_0)}{U(A_0) + \Delta(A)} = \frac{U(A_0)}{U(A_{N(A)})}.$$

На тех уровнях графа, которые соответствуют процессам, сопровождающимся изменениями массы энергоносителя (например, преобразования химической или ядерной энергии в тепловую, обогащение топлива и т.д.) требуется также рассчитывать массу исходного продукта.

Для процесса сжигания топлива потребная масса рассчитывается по формулам

$$M(A_i) = \frac{U(A_{i-1})}{Q_H(A) \cdot \eta(A_i)},$$

где  $Q_H(A)$  – теплотворная способность топлива.

Для процессов обогащения, переработки, хранения и т.д. потребная масса исходного продукта рассчитывается по формуле

$$M(A_i) = \frac{M(A_{i-1})}{\beta(A_i)},$$

где  $\beta(A_i)$  – доля выхода продукта процесса на  $i$ -ом уровне.

Энергозатраты процессов транспортировки энергоносителя рассчитываются по формуле

$$\Delta(A_i) = E(A_i) = M(A_i) \cdot L(A_i) \cdot e(A_i),$$

где  $e(A_i)$  – удельные энергозатраты (на транспортировку единицы массы на единицу пути);

$L(A_i)$  – длина пути.

Энергозатраты на добычу природного энергоносителя вычисляются по формуле

$$\Delta(A_i) = D(A_i) = M(A_i) \cdot d(A_i),$$

где  $d(A_i)$  – удельные энергозатраты (на добычу единицы массы природного энергоносителя).

Для энергетической цепи с несколькими начальными вершинами расчет выполняется в следующей последовательности.

Проводится расчет для каждой составляющей цепи (которая рассматривается как независимая).

Задаются доли энергии  $a_j$ , поступающей к конечной вершине от каждой из  $j$  начальных вершин.

Рассчитываются:

- общие показатели цепи  $\Phi = \{\Phi^1, \Phi^2, \dots, \Phi^j, \dots, \Phi^m\}$ , содержащей  $m$  начальных вершин, обозначаемых  $\Phi^j$ ;
- суммарная энергия на уровне начальных вершин

$$U(\Phi_N) = \sum_{j=1}^m a_j U(\Phi_N^j);$$

- суммарные общие потери энергии

$$\Delta(\Phi) = \sum_{j=1}^m a_j \Delta(\Phi^j);$$

- коэффициент полезного использования энергии

$$\eta_{\text{эц}} = \frac{U_0}{U(\Phi_N)};$$

- масса каждого энергоносителя при сжигании

$$M(\Phi_i^j) = \frac{U(\Phi_i^j)}{Q_{\text{H}}(\Phi^j)\eta(\Phi_i^j)};$$

- масса каждого исходного продукта

$$M(\Phi_i^j) = \frac{M(\Phi_{i-1}^j)}{\beta(\Phi_i^j)}.$$

Структуру графа энергетической цепи можно также представить в виде одной из следующих матриц:

- смежности вершин;
- инцидентий;
- разрядов.

Такое представление графа целесообразно при моделировании энергетических цепей на ЭВМ.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Моделирование энергетических цепей в виде ориентированного графа позволяет упорядочить различные варианты последовательностей преобразования

енергии, проанализировать цепи с несколькими вершинами, а также обеспечивает формализацию задачи для проведения расчетов,

Указанная последовательность расчетов параметров энергетических цепей может быть осуществлена по тем же формулам и в обратном порядке: от первичного энергоносителя к движителю транспортного средства.

Представленная методика анализа эффективности энергетических цепей использована при расчетах примеров, в которых цепь имеет одну начальную вершину графа – один первичный источник энергии.

Особого внимания заслуживает перспективность применения во все больших масштабах средств технического диагностирования СЭУ, позволяющих, наряду со снижением затрат на техническое обслуживание и ремонт, экономить топливо за счет своевременной регулировки и обслуживания оборудования. Эффективность применения средств технического диагностирования зависит от целого ряда условий, но первое из них обеспечение контролепригодности судовых технических средств, – должно удовлетворяться уже на стадии их проектирования.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тымкив А.В. Методы и средства диагностирования судовой энергетической установки / А.В. Тымкив, В.Г. Денисов // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. – 2013. – Вып. 32. – С. 113-123.
2. Budashko V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 3 (8). – С. 10-21.
3. Голиков В.А. Новые тенденции в экологичности судовых энергетических установок / В.А. Голиков // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. – 2011. – Вып. 27. – С. 4-9.
4. Zablotzky Yu.V. Enhancing Fuel Efficiency and Environmental Specifications of a Marine Diesel When using Fuel Additives / Yu.V. Zablotzky, S.V. Sagin // Indian Journal of Science and Technology, Published by Indian Society of Education and Environment. – December 2016. – Vol. 9. – Iss. 46. – P. 353-362. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i46/107516.
5. Тымкив А.В. Мониторинг процесса изнашивания судовой энергетической установки / А.В. Тымкив, В.Г. Денисов // Судовые энергетические установки. – Одесса, 2014. – Вып. 33. – С. 88-96.



6. Тымків А.В. Мониторинг энергетических потоков СЭУ современных судов / А.В. Тымків, В.Г. Денисов // Матеріали науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт», 24.03.2015-25.03.2015. – Ч. 2. – Одеса: ОНМА, 2015. – С. 51-58.
7. Тимків О.В. Визначення стану вузлів тертя двигуна внутрішнього згоряння «Caterpillar-3516С» з використанням датчика зносу / О.В. Тимків // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт». – Одеса: НУ «ОМА», 23.03.2017-24.03.2017. – С. 137-144.

*Стаття надійшла до редакції 28.11.2018*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Суднові енергетичні установки та технічна експлуатація» Одеського національного морського університету **Р.А. Варбанець**

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Суднових допоміжних установок та холодильної техніки Національного університету «Одеська морська академія» **Н.А. Козьмініх**