

Критерий оценки эффективности транспортного средства

Е. Е. КОССОВ¹, В. В. АСАБИН², А. Г. СИЛЮТА¹, Л. Е. КОССОВА¹

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва 129626, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СамГУПС), Самара, 443066, Россия

Аннотация. В качестве критерия оценки эффективности автономного транспортного средства предлагается произведение коэффициента полезного действия на производительность. Критерий пригоден для оценки транспортного средства как при проектировании, так и в процессе эксплуатации. Предлагаемый критерий позволяет сравнивать эффективность различных видов транспорта, а также оценивать ее изменение с ростом технического прогресса.

Ключевые слова: эффективность; критерий; оценка; КПД; производительность; жизненный цикл; тепловозы; суда; самолеты

Введение. Человеческая цивилизация прошла долгий путь развития, исчисляемый десятками тысячелетий, — от скальных изображений, возникновения языков общения и письменности до большого коллайдера и создания новых частиц. На этом пути были не только величайшие открытия, развитие наук, литературы, но и войны, религиозные гонения и чудовищные отклонения от развития цивилизации.

Сегодня никто не будет спорить с тем, что развитие цивилизации было неравномерным, с периодами торможения и прорывов. Особенно ярко ускорение развития проявилось в последние 300–350 лет [1]. Это можно проследить на примере развития транспорта, являющегося прямым следствием возникновения и совершенствования технологий и производства.

Общие положения. Основное назначение любого транспортного средства — своевременная доставка груза. Здесь можно выделить два важных компонента: доставка некоторого груза на заданное расстояние и время этой доставки. Очевидно, что оба компонента равноправны, так как не может быть доставки без определенных затрат энергии и чем быстрее доставка, тем большая энергия потребуется, но и доставка за бесконечное время не имеет смысла.

Наиболее часто оценку качества транспортных средств проводили и проводят по их теплотехническим характеристикам [2, 3, 4], в частности по коэффициенту полезного действия (КПД) [5, 6, 7, 8]. Соответствует ли оценка по этому критерию истории

развития транспорта? Возьмем, например, развитие судоходства. В недавнем прошлом основу судоходства составлял парусный флот, которому абсолютно не требовалось топливо для перемещения грузов и пассажиров. Но появился пароход, который при достаточно низком КПД полностью вытеснил парусный флот! Вероятно, дело не только в КПД: очевидно, пароходы обеспечивали какие-то более важные характеристики, например надежность и быстроту перевозок. Всем известно, что паровоз имел низкий КПД, однако преимущество железнодорожных перевозок оказалось настолько большим, что строительство железных дорог стало решающим фактором развития производства. Аналогичный пример можно привести в развитии авиации. Известно, что широко распространенные пассажирские самолеты с весьма высоким КПД поршневых двигателей (порядка 38–42 %) уступили самолетам с газотурбинными двигателями, которые имеют КПД на уровне 25–30 %. Очевидно, дело не только в КПД, но и в чем-то другом, например в производительности [9].

Конечно, нельзя утверждать, что производительность всегда имеет преобладающее значение. Известно, что переход с паровой тяги на тепловозную и электрическую обосновывался существенным увеличением КПД и улучшением экологических характеристик новых видов тяги, несмотря на некоторое ухудшение тяговых качеств локомотивов.

Оценка эффективности транспортных средств. На наш взгляд, оценка эффективности транспортных средств должна отражать не только расход энергии на перемещение, но и затраченное на него время, т. е. следует учитывать оба фактора — КПД и производительность.

Например, критерием оценки эффективности транспортных средств могло бы быть произведение коэффициента полезного действия на производительность:

$$W = \frac{A^2}{B_t H_u T},$$

где W — индикатор энергетической эффективности (ИЭЭФ); A — работа, выполненная тяговым сред-

ством, Дж; B_t — расход топлива при выполнении этой работы, кг; H_u — теплотворная способность топлива (низшая), Дж/кг; T — время выполнения работы, ч.

Наилучшим будет тяговое средство с наибольшим ИЭЭФ.

Конечно, индикатор должен вычисляться по заданным техническим характеристикам транспортно-го средства, заложенным в ТЗ и в ТУ.

Рассмотрим несколько примеров вычисления ИЭЭФ по предлагаемому критерию.

Пример 1. Для тепловоза 2ТЭ25КМ по техническим характеристикам [10] имеем:

- расчетная сила тяги длительного режима $F_{д.р} = 323,6$ кН;
- скорость длительного режима $v_{д.р} = 23,6$ км/ч;
- часовой расход топлива (при теплотворной способности 42 700 кДж/кг) $B_t = 530$ кг/ч.

За час тепловоз при использовании максимальных заложенных при проектировании и изготовлении показателей совершит наибольшую работу, которая будет равна

$$A = F_{д.р} (v_{д.р} t) = 323,6 \cdot 23\ 600 = 7,64 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

Тепловоз израсходует за час работы 530 кг топлива, и ИЭЭФ будет равен

$$\text{ИЭЭФ} = A^2 / B_t / H_u / T = (7,64 \cdot 10^6)^2 / 530 / 42\ 700 / 1 = 58,37 \cdot 10^{12} / 2,26 \cdot 10^7 = 2,57 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

Пример 2. Если для этого тепловоза оценить максимальный вес поезда для расчетного режима, то предложенный критерий можно выразить в форме, связанной с эксплуатационной работой. При следующих фактических показателях эксплуатационной работы:

- вес поезда $m = 3000$ т на секцию;
- техническая скорость движения $v = 35$ км/ч;
- средний расход топлива $B_{т.ср} = 265$ кг/ч

получим:

$$A = mv = 3000 \cdot 35 = 105\ 000 \text{ т} \cdot \text{км};$$

$$\text{ИЭЭФ} = (3000 \cdot 35)^2 / 265 / 42\ 700 / 1 = 9,73 \cdot 10^2 \text{ т} \cdot \text{км}^2 / \text{кДж/ч.}$$

Пример 3. Если речь идет о пассажирском движении, то измерителем работы может быть принят пассажиро-километр (пасс.км). Например, для тепловоза ТЭП70 имеем:

- число пассажиров в поезде $n = 700$;
- скорость движения $v = 60$ км/ч;
- средний расход топлива в эксплуатации $B_{т.ср} = 280$ кг/ч.

Тогда

$$A = nv = 700 \cdot 60 = 42\ 000 \text{ пасс.км}$$

$$\text{ИЭЭФ} = (700 \cdot 60)^2 / 280 / 42\ 700 / 1 = 1,764 \cdot 10^9 / 1,24 \cdot 10^7 = 1,475 \cdot 10^2 \text{ пасс.км}^2 / \text{кДж/ч.}$$

Этот критерий пригоден как при оценке транспортного средства при проектировании [11], так и в процессе эксплуатации. При этом появляется возможность оценить и сравнить ИЭЭФ технических транспортных средств не только для железнодорожного транспорта.

В табл. 1, 2, 3 приведены технические характеристики и ИЭЭФ различных транспортных средств в натуральных и относительных величинах.

Предлагаемый критерий позволяет оценить изменение эффективности транспортного средства во времени вследствие технического прогресса.

Например, энергетическая эффективность современного тепловоза 2ТЭ25К2М в 3,41 раза выше, чем у тепловоза ТЭ3, выпущенного в 1953 г. Если бы мы сравнивали эффективность по КПД тепловоза, то ее повышение составило бы только 1,1 раза. Аналогичная картина наблюдается и при сравнении других транспортных средств. Так, по сравнению с самолетом ИЛ-14 ИЭЭФ самолета ИЛ-96 увеличился в 16,6 раза. При выборе КПД силовой установки в качестве критерия оценки его эффективность снижается в 1,4 раза.

Таблица 1

Технические характеристики и ИЭЭФ тепловозов

Table 1

Technical characteristics and EEI locomotives						
Тепловоз	Сила тяги, кН	Скорость длительного режима, км/ч	Расход топлива, кг/ч	ИЭЭФ, кДж/ч	Относительная величина	ИЭЭФ, т·км ² /кДж/ч
ТЭ3	186,4	20	340	$9,53 \cdot 10^5$	1,0	68,2
ТЭ10	245	24,6	478,7	$1,78 \cdot 10^6$	1,9	129,4
2ТЭ116	247,9	24,7	261	$1,91 \cdot 10^6$	2,007	136,9
2ТЭ25К2М	324	28,35	654,5	$3,02 \cdot 10^6$	3,41	233

Таблица 2

Технические характеристики и ИЭЭФ самолетов

Table 2

Specifications and EEI of aircrafts					
Самолет	Вместимость, пасс.	Крейсерская скорость, км/ч	Расход топлива на крейсерском режиме, кг/ч	ИЭЭФ, пасс.км ² /кДж/ч	Относительная величина
ИЛ-14	36	345	636	5,67	1,0
Ту-104	50	800	12 800	6,58	1,16
Ил-62	168	850	15 000	30,8	5,43
Ил-96	300	870	17 000	93,8	16,6
Ту-144	300	2300	38 500	289	51,1
A380	853	900	20 500	673	118,7

Таблица 3

Технические характеристики и ИЭЭФ океанских пассажирских лайнеров

Table 3

Technical characteristics and EEI of ocean passenger liners

Лайнер	Вместимость, пасс.	Скорость, км/ч	Расход топлива, кг/ч	ИЭЭФ, кДж/ч	Относительная величина
Титаник (Titanic)	2439	41,4	25 416 (уголь)	5,6	1,0
Королева Елизавета (Queen Elisabeth)	2760	56,0	21 000	26,7	4,76
Оазис морей (Oasis of the sea)	6400	40,7	19 400	81,9	14,36

Таким образом, транспортное средство с высоким КПД силовой установки не всегда имеет большую эффективность в целом. Поскольку выбор транспортного средства в первую очередь обусловлен конкретными условиями эксплуатации и направлен на снижение стоимости перевозок при ограниченном времени, то данный выбор в качестве критерия оценки эффективности нецелесообразен. Предложенный критерий вычисляется с учетом фактических или прогнозируемых показателей эксплуатации и позволяет количественно оценить степень совершенства вновь создаваемых транспортных средств.

Заключение. Предлагаемый критерий может применяться при оценке эффективности транспортного средства по проектным техническим характеристикам, а также по результатам эксплуатации.

Для расчета ИЭЭФ необходимо получить данные по фактическим показателям работы транспортного средства. На железнодорожном транспорте это данные по показателям поездной работы в т.км, скорости движения и расходу топлива.

Оценка ИЭЭФ по данным эксплуатации будет показывать, насколько корректно выстроена организация эксплуатации транспортного средства, как влияют нестационарные режимы силовой установки и специфические режимы тяги на эффективность работы транспортного средства в целом, насколько удачно выбрано транспортное средство для конкретных условий эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамс Г. Воспитание Генри Адамса. М.: Прогресс, 1988. 752 с.
2. Бром А.Е., Белова О.В., Сиссиньо А. Базовая модель стоимости жизненного цикла энергетического оборудования [Электронный ресурс] // Гуманитарный вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. Вып. 10. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/115> (дата обращения: 15.11.2018 г.).
3. Бабел М., Шкода М. Анализ целесообразности модернизации тепловозов серии SM42 в двухдизельном варианте с учетом критерия стоимости жизненного цикла // Инновации и инвестиции. 2014. № 3. С. 234–238.
4. Banar M., Ozdemir A. An evaluating of railway passenger transport in Turkey using life cycle assessment and life cycle cost methods // Transportation Research. Part D. 2015. № 41. С. 88–105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.017>.
5. Alfter R. Low-cost and life-cycle cost. Minimierung beim Regio Sprinter // Der Eisenbahn Ingenieur. 1990. № 11. Р. 60–65.
6. Курсин Д.А. Расчет стоимости жизненного цикла сложного машиностроительного изделия при принятии решения о совершенствовании проекта [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2011. № 10. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/219888> (дата обращения: 15.11.2018 г.).
7. Клименко Ю.И., Перминов В.А., Родионов И.Н. Эксплуатационный КПД, индикатор энергетической эффективности тепловозов и классы их энергоэффективности // Техника железных дорог. 2018. № 2. С. 76–81.
8. Методика расчета индикатора энергетической эффективности (ИЭЭФ) тепловоза: утв. ОАО «РЖД» от 26.12.2014 г. № 516. М., 2014. 22 с.
9. Коссов Е.Е., Сухопаров С.И. Оптимизация режимов работы тепловозных дизель-генераторов. М.: Интекст, 1999. 184 с.
10. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 г. № 867р. URL: <https://freedocs.xyz/pdf-459110722> (дата обращения: 15.11.2018 г.).
11. The Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships [Electronic resource]. URL: <https://www.theicct.org/publications/energy-efficiency-design-index-eedi-new-ships> (дата обращения 15.11.2018 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОССОВ Евгений Евгеньевич,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник,
отделение «Тяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

АСАБИН Виталий Викторович,
канд. техн. наук, проректор ФГБОУ ВО СамГУПС

СИЛЮТА Анатолий Геннадьевич,
заместитель заведующего лабораторией, отделение «Тяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

КОССОВА Лидия Евгеньевна,
младший научный сотрудник, отделение «Тяговый подвижной состав», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 13.01.2019 г., принята к публикации 19.03.2019 г.

Criterion for evaluating vehicle performance

Е. Е. КОССОВ¹, В. В. АСАБИН², А. Г. СИЛЮТА¹, Л. Е. КОССОВА¹

¹ Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State University of Communications" (FGBOU VO SamGUPS), Samara, 443066, Russia

Abstract. The article proposes to evaluate the efficiency of an autonomous vehicle, taking into account not only the energy consumption for motion, but also the time of motion, i. e. both factors — efficiency and performance — should be taken into account. As a criterion for evaluating the efficiency of vehicles, authors propose the multiplication of efficiency on performance — the energy efficiency indicator (EEI). The best will be the vehicle with the highest EEI. The indicator should be calculated according to the specified technical characteristics of the vehicle laid down in the technical specifications. This criterion is suitable both for the evaluation of the vehicle during the design and during operation. At the same time, it is possible to evaluate and compare the EEI of technical vehicles not only of railway transport. The article presents the criterion values for water, rail and air transport. Proposed criterion makes it possible to evaluate the change in vehicle efficiency over time due to technical progress. Since 1953, the energy efficiency of a diesel locomotive has increased almost 3 times. To calculate the operational energy efficiency, it is necessary to obtain data on the actual performance of the vehicle. On railway transport, this is data on train work in t-km, speed and fuel consumption. The EEI assessment based on operating data will show how correctly the organization of vehicle operation is built, how non-stationary modes of the power plant and specific modes of traction influence the overall performance of the vehicle, how well the vehicle is selected for these operating conditions.

Keywords: efficiency; criteria; assessment; efficiency factor; performance; life cycle; diesel locomotives; ships; air crafts

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-2-96-99>

REFERENCES

1. Adams G. *Vospitanie Genri Adamsa* [Education of Henry Adams]. Moscow, Progress Publ., 1988, 752 p.
2. Brom A. E., Belova A. V., Sissinho A. *Basic model of life cycle cost of energy equipment*. Humanities Bulletin of BMSTU, 2013, Vol. 10. URL: <http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/115> (retrieved on 15.11.2018) (in Russ.).
3. Babel M., Shkoda M. *Analiz tselesoobraznosti modernizatsii teplovozov serii SM42 v dvukhdizel'nom variante s uchetom kriteriya stoimosti zhiznennogo tsikla* [Analysis of the feasibility of upgrading diesel locomotives of the SM42 series in a two-diesel version, taking into account the criterion of the cost of the life cycle]. Innovatsii i investitsii [Innovation and investment], 2014, no. 3, pp. 234–238.
4. Banar M., Ozdemir A. *An evaluating of railway passenger transport in Turkey using life cycle assessment and life cycle cost methods*. Transportation Research, Part D, 2015, no. 41, pp. 88–105.

■ E-mail: lkossova@yandex.ru (L. E. Kossova)

5. Alfter R. *Low-cost and life-cycle cost. Minimierung beim Regio Sprinter*. Der Eisenbahn Ingenieur, 1990, no. 11, pp. 60–65.

6. Kursin D. A. *Calculation of the life cycle cost of a complex engineering product when deciding on the improvement of the project*. Science and Education, 2011, no. 10. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/219888> (retrieved on 15.11.2018) (in Russ.).

7. Klimenko Yu. I., Perminov V. A., Rodionov I. N. *Ekspluatatsionnyy KPD, indikator energeticheskoy effektivnosti teplovozov i klassy ikh energoeffektivnosti* [Operational efficiency, indicator of energy efficiency of diesel locomotives and their energy efficiency classes]. Tekhnika zheleznykh dorog [Railway Equipment], 2018, no. 2, pp. 76–81.

8. *Method of calculating the energy efficiency indicator (EEI) of a diesel locomotive*. Approved by the JSC "Russian Railways" no. 566 on December 26, 2014. Moscow, 2014, 22 p. (in Russ.).

9. Kossov E. E., Sukhoparov S. I. *Optimizatsiya rezhimov raboty teplovoznnykh dizel'-generatorov* [Optimization of operating modes of locomotive diesel generators]. Moscow, Intext Publ., 1999, 184 p.

10. *Rules of traction calculations for train operation*. Approved by the order of the JSC "Russian Railways" on May 12, 2016 no. 867p. URL: <https://freedocs.xyz/pdf-459110722> (retrieved on 15.11.2018) (in Russ.).

11. *The Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships*. URL: <https://www.theict.org/publications/energy-efficiency-design-index-eedi-new-ships> (retrieved on 15.11.2018).

ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy E. KOSSOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, Department "Traction rolling stock", JSC "VNIIZhT"

Vitaliy V. ASABIN,

Cand. Sci. (Eng.), Vice Rector of FGBOU VO SamGUPS

Anatoliy G. SILYUTA,

Deputy Head of the Laboratory, Department "Traction rolling stock", JSC "VNIIZhT"

Lidiya E. KOSSOVA,

Junior Researcher, Department "Traction rolling stock", JSC "VNIIZhT"

Received 13.01.2019

Accepted 19.03.2019

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Вопросы развития железнодорожного транспорта: сб. тр. ученых АО «ВНИИЖТ» / под ред. М. М. Железнова, Г. В. Гогричани. М.: РАС, 2017. 272 с.

Рассмотрены важные экономические факторы, влияющие на развитие железнодорожного транспорта, проблемы, связанные с подвижным составом, тягой поездов, а также вопросы пути, путевого хозяйства и металловедения.

Сборник рассчитан на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.