

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 629.014

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-1-53-62



## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАВАЕМЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А. Г. Силюта<sup>1</sup>✉, А. Г. Силюта<sup>2</sup>, Д. М. Маяков<sup>3</sup><sup>1</sup> Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),  
Москва, Российская Федерация<sup>2</sup> Научно-исследовательский испытательный центр железнодорожных войск  
Министерства обороны Российской Федерации (НИИЦ ЖДВ),  
Москва, Российская Федерация<sup>3</sup> Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)),  
Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В настоящее время разработка новых локомотивов ведется с учетом условий эксплуатации с последующим закреплением локомотива на целевом полигоне. Для оценки стоимости жизненного цикла на этапе проектирования производители железнодорожного тягового подвижного состава разрабатывают расчетные эксплуатационные модели работы локомотива с оценкой ключевых показателей. Таким образом, оценка эффективности тягового подвижного состава с проектными характеристиками на целевом полигоне является основной информацией для принятия управленческих решений о закупке локомотивов выбранной серии. Подобная задача поставлена и решается для транспортных средств других видов транспорта с учетом условий эксплуатации, особенностей конструкции и т. д.

**Материалы и методы.** Современные подходы к оценке эффективности создаваемых транспортных средств используются для решения разных задач, однако в ряде случаев удается применить схожие критерии, отличающиеся механизмом расчета и объемом исходных данных, что особенно важно при оценке эффективности мультимодальных перевозок как в грузовом, так и в пассажирском движении. Приведенный в статье критический анализ основных подходов к оценке эффективности создаваемых транспортных средств крупнейших видов транспорта, таких как автомобильный, водный и железнодорожный, позволил сделать вывод о необходимости учета не только коэффициента полезного действия транспортного средства, но и интенсивности его использования.

**Результаты.** В качестве примера получены количественные оценки предлагаемого критерия эффективности по паспортным характеристикам и с учетом реальных условий эксплуатации. Сравнение результатов моделирования с результатами расчетов по паспортным характеристикам показало значительное влияние условий эксплуатации на величину критерия эффективности.

**Обсуждение и заключение.** Полученные выводы являются универсальными и могут быть рекомендованы к применению для оценки эффективности создаваемых транспортных средств различных видов транспорта с учетом характерных особенностей тех или иных типов подвижного состава.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** транспортное средство, технические характеристики, оценка, критерий, показатель, железнодорожный транспорт, автомобильный транспорт, водный транспорт

**Для цитирования:** Силюта А. Г., Силюта А. Г., Маяков Д. М. Современные подходы к оценке эффективности создаваемых транспортных средств // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 1. С. 53–62. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-1-53-62>.



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 629.014

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-1-53-62



## MODERN APPROACHES TO THE EFFICIENCY ASSESSING OF CREATED VEHICLES

Anatoliy G. Silyuta<sup>1</sup>✉, Artur G. Silyuta<sup>2</sup>, Denis M. Mayakov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Railway Research Institute (VNIIZhT),  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Research Testing Center of the Railway Troops of the Ministry  
of Defense of the Russian Federation (NIITs ZhDV),  
Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Russian University of Transport (RUT (MIIT),  
Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The manufacturers currently develop new locomotives considering operating conditions with further locomotive fixation on the target ground. They also calculate the operational locomotive models with the key indicators for assessing the cost of the life cycle during the engineering stage. Therefore, the basic information for making operational decisions on purchase about selected locomotive items is the evaluation of the traction rolling stock effectiveness. The manufacturers of other vehicle types have similar aims in terms of operating conditions, engineering features, etc.

**Materials and methods.** The scientists succeed in the usage of the modern evaluating approaches to the vehicles efficiency. The application of the similar criteria that differ in the calculation mechanism and the initial data volume is especially important in evaluating the effectiveness of the multimodal transportation of freight and passenger traffic. The article presented the critical analysis of the main approaches to assessing the effectiveness of the road, water and railway vehicles. Thus, the authors concluded that the manufacturers should consider both the efficiency of the vehicle and the usage intensity.

**Results.** The authors demonstrate quantitative estimates of the proposed efficiency criterion for certificate features and considering real operational conditions. The paper presents the simulation results comparison with the calculation ones considering certificate features. Thus, operational conditions significantly effect the efficiency criterion.

**Discussion and conclusion.** The authors highlight that the obtained results are universal for evaluating the effectiveness of the various vehicles in terms of different rolling stock features.

**KEYWORDS:** vehicle, technical features, assessment, criterion, indicator, rail transport, road transport, water transport

**For citation:** Silyuta A. G., Silyuta A. G., Mayakov D. M. Modern approaches to the efficiency assessing of created vehicles. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(1):53–62. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-1-53-62>.

**Введение.** Основные типы транспортных средств и их технические характеристики разрабатываются на основе соответствующих концепций транспортной техники нового поколения с учетом требований действующих нормативных документов, федерального законодательства, достижений научно-технического прогресса и современных мировых тенденций в машиностроении, электротехнике и электронике.

Вновь разрабатываемые транспортные средства предназначены для повышения технико-экономических характеристик грузовых и пассажирских перевозок, а также для замены техники, выработавшей назначенный срок службы. Основными преимуществами новой транспортной техники являются повышение безопасности движения, улучшение качества грузовых и пассажирских перевозок, повышение производительности труда, сокращение стоимости жизненного цикла за счет снижения стоимости разработки и изготовления, улучшение энергетической эффективности силовых установок, увеличение назначенного срока эксплуатации, снижение расходов на техническое обслуживание и текущие ремонты, увеличение среднесуточного и беззаправочного пробега, технической и маршрутной скорости движения, использование альтернативных видов топлива, обеспечение возможности автоматического и беспилотного ведения транспортного средства и др.

При проектировании грузовых, пассажирских и специальных транспортных средств закладываются принципиально отличающиеся энергетические и экологические технические характеристики. Требования к заправочной инфраструктуре при условии использования одного вида топлива остаются едиными.

Количественная оценка соответствия характеристик транспортных средств заданным в нормативно-технической документации требованиям дается с помощью расчета значений специальных критериев. Целью исследования является рассмотрение методических подходов к оценке эффективности транспортных средств автомобильного, морского и железнодорожного транспорта для их обобщения и создания предпосылок к возможности проведения сравнительной оценки эффективности транспортных средств различных видов транспорта. (Под эффективностью транспортного средства будем понимать количественную оценку свойства транспортного средства выполнять заданные функции с требуемым качеством.) Приведенный далее анализ особенностей оценки эффективности создаваемых транспортных средств выстроен по убыванию общего числа существующих транспортных средств.

**Автомобильный транспорт.** Автомобили являются самым массовым транспортным средством. По данным Росстата, на 2019 г. общее количество грузовых

автомобилей составляет 6540 тыс. единиц, а общее количество пассажирских автомобилей — 48 605 тыс. единиц, в том числе 48 430 тыс. легковых автомобилей. Для сравнения: общее количество речных и морских судов за тот же период составляет 2749 тыс. единиц [1].

Для определения технических характеристик создаваемых автотранспортных средств необходимо в первую очередь установить перечень параметров, которые будут варьироваться. Основными техническими параметрами автотранспортного средства являются его длина, масса, мощность силовой установки, частота вращения коленчатого вала, расход топлива на измеритель, максимальная скорость. В [2] авторами предложено для выбора параметров автотранспортного средства использовать элементы теории подобия и размерностей. Если имеется набор опытных данных уже существующих транспортных средств, то по формулам подобия и размерностей можно в известных пределах сделать заключение о возможных параметрах создаваемого автотранспортного средства.

В качестве исходных данных могут быть приняты технические характеристики существующих автотранспортных средств, построенных аналогично данным [2], сведенным в табл. 1 и 2.

Используя теорию подобия и размерностей, можно показать, в каком направлении велись опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы в области повышения эффективности автотранспортных средств, а также как изменялись их технико-экономические и экологические показатели.

В качестве показателей, определяющих количественную меру изменения характеристик автотранспортных средств, авторами [2] предложены наиболее характерные соотношения, определяющие эффективность автотранспортного средства:

$$u_1 = \frac{P_m \vartheta}{N}; \quad (1)$$

$$u_2 = \frac{ql}{V}; \quad (2)$$

$$u_3 = \frac{P_r}{P_m}, \quad (3)$$

где  $u_1$ – $u_3$  — критерий подобия;  $P_m$  — масса в снаряженном состоянии, кг;  $\vartheta$  — максимальная скорость движения, км/ч;  $N$  — минимальная мощность двигателя, л. с.;  $q$  — контрольный расход топлива, л;  $l$  — длина, мм;  $V$  — рабочий объем двигателя, л;  $P_r$  — грузоподъемность, кг.

Отметим некоторые важные положения. Методы теории подобия и размерностей эффективно применяются для автомобилей, созданных на основе одной и той же конструктивной схемы. Так, например, область параметров легковых машин относительно

Таблица 1  
Технические характеристики легковых автомобилей\*  
Table 1

| Technical features of cars*             |                      |            |           |
|-----------------------------------------|----------------------|------------|-----------|
| Наименование характеристики             | Volkswagen Golf VIII | Ford Focus | Kia Rio   |
| Длина, мм                               | 4284                 | 4382       | 4420      |
| Масса, кг                               | 1810                 | 1895       | 1560      |
| Мощность, л.с.                          | 150                  | 100        | 100       |
| Расход топлива на 100 км, л             | 5,8                  | 6,4        | 5,7       |
| Максимальная скорость, км/ч             | 216                  | 186        | 185       |
| Мощность двигателя, л.с.                | 110                  | 100        | 100       |
| Рабочий объем двигателя, м <sup>3</sup> | 0,001 498            | 0,001 596  | 0,001 368 |

\*технические характеристики приняты по данным заводов-изготовителей.  
\*technical features are taken according to the data of manufacturers.

Таблица 2  
Технические характеристики грузовых автомобилей\*  
Table 2

| Technical features of trucks*           |                      |            |
|-----------------------------------------|----------------------|------------|
| Наименование характеристики             | Mercedes-Benz Actros | КамАЗ-5320 |
| Длина, мм                               | 6000–10 000          | 7435       |
| Масса, кг                               | 7000–144 000         | 7080       |
| Мощность, л.с.                          | 320–600              | 210–240    |
| Расход топлива на 100 км, л             | 25–130               | 34         |
| Максимальная скорость, км/ч             | 162                  | 80–100     |
| Мощность двигателя, л.с.                | 313–510              | 210        |
| Рабочий объем двигателя, м <sup>3</sup> | 0,011 946            | 0,010 857  |
| Грузоподъемность, кг                    | 40 000               | 8000       |

\*технические характеристики приняты по данным заводов-изготовителей.  
\*technical features are taken according to the data of manufacturers.

невелика, стабилизировалась во времени, что указывает на достижение неких оптимальных технических и экономических характеристик автомобилей. Значительное изменение технических характеристик требует применения новых принципов работы и конструирования или применения новых материалов. У грузовых автомобилей и автобусов имеется ярко выраженная тенденция к увеличению грузоподъемности и рабочего объема двигателя и уменьшению расхода топлива.

При проектировании автотранспортного средства по условиям эксплуатации, свойствам и характеристикам перевозимого груза, как правило, выбирается шасси и тип кузова. Далее определяется его грузоподъемность в соответствии с выбранными ограничениями дорожного полотна. В [3] указывается, что критериями оптимальности автотранспортного средства для выбранного типа грузов являются те же критерии, что и для оценки эффективности автотранспортного средства в целом или эффективности транспортного процесса.

На сегодняшний день не существует универсального критерия, однозначно определяющего эффективность автотранспортного средства без учета условий эксплуатации. Как правило, после выбора реальных условий эксплуатации и решаемой задачи определяется частный критерий эффективности, который может быть натуральным, комплексным [4], экономическим [5, 6] и др. В части оценки расхода топлива автотранспортным средством в условиях эксплуатации разработаны и широко используются методические указания [7].

В [8] предложено эффективность автотранспортных средств оценивать системой технико-экономических показателей, отражающих объем перевезенного груза и качество выполненной перевозочной работы. Для определения влияния технико-экономических показателей на критерий эффективности при изменении пробега автотранспортного средства при выбранных условиях его эксплуатации и комплектации используют приемы цепных подстановок [9].

В [4] на основе анализа исследований, выполненных в МАДИ, Иркутской ГСХА, ТюмГНУ, Новосибирском ГАУ и др., сделан важный вывод о различной эффективности автотранспортных средств в разных условиях эксплуатации. Оценка эффективности или степени реализации заданных параметров в реальных условиях эксплуатации не может проводиться только по экономической эффективности, требуется учет и технической эффективности. Также имеет место нарастающая актуальность охраны окружающей среды в части снижения выбросов вредных веществ.

Следует отметить, что для оценки эффективности автотранспортных средств используют значительно отличающиеся по структуре и механизмам расчета критерии. В [4] в качестве количественной меры, отражающей полноту реализации заданных характеристик, предложен уровень обеспеченности автотранспортного средства критериями эффективности:

$$\eta = \sum h_i \alpha_i, \quad (4)$$

где  $h_i$  — уровень обеспеченности автотранспортного средства  $i$ -го вида критериями эффективности;

$\alpha_i$  — значимость критерия  $i$ -го вида в совокупности полного эффекта.

При этом уровень обеспеченности критериями эффективности может использоваться как для интегральной оценки, так и для оценки выбранной группы критериев в зависимости от поставленной задачи [4]:

$$h_{ia}(n_{oa}) = \frac{a'_i}{a_i}; \quad (5)$$

$$h_{ib}(n_{ob}) = \frac{b'_i}{b_i}; \quad (6)$$

$$h_{ic}(n_{oc}) = \frac{c'_i}{c_i}; \quad (7)$$

где  $a_i, b_i, c_i$  — выбранные значения критериев экономической, технической и экологической эффективности по данным завода-изготовителя;  $a'_i, b'_i, c'_i$  — фактические значения критериев экономической, технической и экологической эффективности по данным завода-изготовителя.

Недостатком такого подхода является необходимость формирования значительного банка данных по эксплуатации автотранспортных средств и ограниченные возможности по создаваемым типам автотранспортных средств.

Из сказанного выше следует важный вывод: в качестве критериев эффективности автотранспортного средства определены не только себестоимость перевозок с учетом погрузочно-разгрузочных работ, рассчитываемая с учетом стоимости конкретных марок подвижного состава, топлива, моторных масел, но и производительность подвижного состава. Использование одного критерия, как правило, применяется при ограниченных сроках доставки груза и ресурсах на его доставку, а также при значительном объеме перевозок. Увеличение количества участников при организации процесса перевозок вызывает необходимость формирования и применения системы критериев качества эксплуатации автотранспортных средств.

**Водный транспорт.** Водный транспорт занимает второе место после автомобильного по количеству транспортных средств [1]. Новые экономические условия требуют постоянного совершенствования и корректировки порядка разработки и подтверждения прогнозов, программ кораблестроения, важнейших транспортно-технических характеристик кораблей, порядка экспертизы проектов и т. д.

Опорными документами для разработки технического облика современных кораблей и судов являются «Положение о создании кораблей и судов» и «Положение об основных условиях поставки кораблей и судов по государственному оборонному заказу»,

утвержденные на заседании Военно-промышленной комиссии при Правительстве Российской Федерации 24 мая 2011 г. под председательством заместителя председателя Правительства Российской Федерации С. Б. Иванова.

Основные технические характеристики кораблей, судов определяются после задания целевого полигона эксплуатации, объема перевозок и необходимости круглогодичного сообщения [10].

В [11] в качестве основных показателей, отражающих эффективность создаваемых судов, рассматриваются провозная способность транспортного средства и коэффициент технической готовности. Второй показатель на стадии проектирования и определения основных технических и экологических характеристик носит прогнозный характер и уточняется по результатам подконтрольной эксплуатации.

Провозная способность водного транспортного средства может быть выражена как эффективная суммарная дальность его годового хода [11]:

$$L = J_c D \alpha, \quad (8)$$

где  $J_c$  — средняя суточная дальность, сут;  $D$  — количество календарных дней в году, сут;  $\alpha$  — коэффициент готовности по дням эксплуатации.

В [12, 13] рассмотрена практическая реализация применения в качестве критерия оценки эффективности водного транспортного средства его эффективной провозной способности при минимальном значении себестоимости перевозки 1 т груза. В табл. 3 сведены полученные экспериментальным путем данные работы водных транспортных средств. Наибольшую эффективность в соответствии с выбранным критерием имеет судно «Брестская крепость».

В [14] автором в качестве важнейших характеристик выбраны скорость, мощность и тяга водного транспортного средства. Следует отметить, что выбор этих параметров при проектировании осуществляется с учетом реальных условий эксплуатации.

В [15] рассмотрен переход от оценки энергетической эффективности водного транспортного средства только лишь по расходу топливно-энергетических ресурсов и ресурсным показателям к интегральной оценке с учетом выбросов вредных веществ двигателями. Для сравнительных расчетов используются следующие данные:

- грузоподъемность;
- расчетная скорость;
- мощность главных двигателей;
- выбросы  $\text{CO}_2$  главными и вспомогательными двигателями;
- удельный эффективный расход топлива;
- мощность вспомогательных двигателей;

Таблица 3  
Показатели работы водных транспортных средств [12]  
Table 3  
Performance indicators of water vehicles [12]

| Показатель                                                                | «Брестская крепость» | «Сибирь»          | «Актюбинск»       |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Потребность в транспортном тоннаже, т (минтай/сельдь)                     | 11 789/2818,5        |                   |                   |
| Провозная способность судна за рейс, т                                    | 4972                 | 4400              | 4235              |
| Провозная способность судна за эксплуатационный период, т (минтай/сельдь) | 24 860/<br>19 888    | 17 600/<br>17 600 | 21 175/<br>16 940 |
| Количество рейсов (минтай/сельдь)                                         | 5/4                  | 4/4               | 5/4               |
| Себестоимость перевозки 1 т груза, руб./т                                 | 1006,4               | 1154,0            | 1210,0            |

• поправочные коэффициенты, определяемые типом водного транспортного средства и условиями его эксплуатации.

Энергетическая эффективность водного транспортного средства может быть определена по следующей зависимости [16, 17]:

$$EEDI_{\text{усл}} = \frac{Rv}{g_{\Sigma} P_{\Sigma} Q_n^p}, \quad (9)$$

где  $R$  — буксировочное усилие, кН;  $v$  — скорость хода, м/с;  $g_{\Sigma}$  — удельный расход топлива на все силовые установки, работающие на контрольном режиме, кг/Вт·с;  $P_{\Sigma}$  — общая мощность всех силовых установок, работающих на контрольном режиме, кВт;  $Q_n^p$  — низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг.

Необходимо отметить, что знаменатель зависимости (9) содержит в себе важнейшую информацию о составе энергетической установки водного транспортного средства, в том числе о типе применяемого топлива.

В [18] авторами проведен масштабный анализ числовых оценок технических характеристик водных транспортных средств с учетом достижений научно-технического прогресса. В табл. 4 представлена информация по истории развития и учета критериев выбора типа силовой установки для различных периодов разработки водных транспортных средств.

**Железнодорожный транспорт.** Для оценки эффективности создаваемого автономного тягового подвижного состава используют различные критерии в зависимости от цели решаемой задачи, такие как себестоимость перевозок, стоимость жизненного

цикла подвижного состава, КПД силовой установки подвижного состава и др. [19].

Основными показателями поездной работы магистрального локомотива являются выполненная тонно-километровая работа, суммарный расход дизельного топлива за поездку, время выполнения поездной работы.

Под критерием (индикатором) энергетической эффективности автономного тягового подвижного состава будем понимать отношение полезного эффекта использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенных в целях получения такого эффекта [20].

Известно несколько методических подходов к определению критерия энергетической эффективности тепловозов.

В [21] предложено определять критерий энергетической эффективности локомотива по следующей зависимости:

$$W = \frac{m_c S}{c_1 B} = \frac{A}{c_1 B}, \quad (10)$$

где  $m_c$  — масса состава, т;  $S$  — суммарный пробег локомотива, км;  $c_1$  — постоянный коэффициент;  $B$  — суммарный расход топлива, т;  $A$  — выполненная работа на автосцепке, МДж.

Из зависимости (10) видно, что большую эффективность при выполнении одинаковой работы будет иметь локомотив с более низким суммарным расходом топлива. При этом критерий (10) в предложенном виде не учитывает время выполнения поездной работы. Следовательно, сравниваемые варианты должны иметь не только одинаковую работу, но и одинаковое заданное время хода. Подобное ограничение существенно сужает область проведения сравнительной оценки энергетической эффективности локомотивов.

В [22] предложен способ экспресс-оценки критерия энергетической эффективности по основным техническим данным локомотива, приведенным в технических указаниях. В качестве критерия энергетической эффективности предложено использовать показатель, учитывающий не только расход энергии на выполнение поездной операции, но и время ее выполнения:

$$W = \eta \Pi = \frac{A}{B H_u T} = \frac{A^2}{B H_u T}, \quad (11)$$

где  $\eta$  — КПД тягового средства;  $\Pi$  — производительность тягового средства, МДж/ч;  $H_u$  — теплотворная способность топлива (низшая), кДж/кг;  $T$  — время выполнения работы, ч.

Таблица 4

История развития и учета критериев выбора типа энергетической установки водного транспортного средства [18]

Table 4

The history of development and of the criteria integration for the power plant type selection of the water vehicle [18]

| Критерий                                                     | Период         |              |                |                 |
|--------------------------------------------------------------|----------------|--------------|----------------|-----------------|
|                                                              | Конец XVIII в. | Начало XX в. | 2-я пол. XX в. | Настоящее время |
| Минимизация экипажа машинного отделения                      | +              | +            | +              | +               |
| Максимизация маневренности*                                  | +              | +            | +              | +               |
| Максимизация автономности**                                  | +              | +            | +              | +               |
| Максимизация мореходности***                                 | +              | +            | +              | +               |
| Минимизация стоимости производства                           |                | +            | +              | +               |
| Максимизация надежности главного двигателя                   | Не применяется | +            | +              | +               |
| Минимизация массогабаритных характеристик                    |                | +            | +              | +               |
| Максимизация эксплуатационного КПД                           | Не применяется | +            | +              | +               |
| Максимизация гибкости выработки и распределения мощности**** | Не применяется |              | +              | +               |
| Минимизация загрязнения воздушной и водной среды             | Не применяется |              |                | +               |

\* маневренность судна — способность судна быстро изменять направление и скорость движения.

\*\* автономность судна — время, в течение которого корабль способен находиться в море, выполняя назначенные ему задачи, без пополнения запасов питьевой и технической воды, провианта и расходных материалов, не относящихся к движению, а также без смены личного состава.

\*\*\* мореходность судна — способность судна противостоять воздействию морского волнения, как правило возникающего из-за ветровых волнений (ветра).

\*\*\*\* гибкость выработки и распределения мощности — способность судна быстро перераспределять вырабатываемую энергию между потребителями в зависимости от тактической обстановки.

Из зависимости (11) видно, что по сравнению с зависимостью (10) учтено время выполнения поездной работы. Однако введение новых конструктивных элементов в состав локомотива может улучшать его технико-экономические характеристики, не изменяя существенно суммарный расход топлива. В таком случае критерии (10) и (11) не применимы для проведения сравнительной оценки локомотивов, а смысл критерия энергетической эффективности может быть расширен.

В [23] для оценки энергетической эффективности предложено использовать показатель, позволяющий дополнительно учитывать изменения в системе технического обслуживания и ремонта, снижение количества неплановых ремонтов и т. д.:

$$W = \frac{A}{CT} = \frac{A}{(c_r + c_{то,тр} + c_{нр})T}, \quad (12)$$

где  $C$  — стоимостная мера влияния эксплуатационных факторов, руб.;  $c_r$  — стоимость дизельного топлива, потраченного за время  $T$ , руб.;  $c_{то,тр}$  — стоимость технического обслуживания и ремонта дизеля за время  $T$ , руб.;  $c_{нр}$  — стоимость неплановых ремонтов, руб.

Таким образом, при оценке эффективности автономных локомотивов требуется учитывать не только расход энергии на перемещение, но и выполненную работу за определенное время, т. е. учитывать оба

фактора — КПД и производительность транспортного средства, тогда наилучшим будет транспортное средство с наибольшим индикатором эффективности. Наиболее полно таким требованиям удовлетворяет критерий (11). Этот критерий пригоден как при оценке транспортного средства при проектировании, так и в процессе эксплуатации. При этом появляется возможность оценить и сравнить индикатор энергетической эффективности для разных типов транспорта. Следует отметить, что приведенный в формуле (11) критерий не отражает влияние факторов, определяющих тягово-динамические свойства, надежность, ресурс, стоимость и некоторых других качеств локомотива напрямую. Учет подобных факторов, например динамических качеств подвижного состава, возможен на следующем этапе при формировании более узкой задачи.

В качестве примера в табл. 5 приведены технические характеристики и некоторые результаты определения индикатора эффективности тепловозов.

Предлагаемый критерий позволяет дать количественную оценку эффективности транспортных средств разных годов выпуска и отличающихся подходами при проектировании.

Например, энергетическая эффективность современного тепловоза 2ТЭ25К<sup>2М</sup> в 3,41 раза выше, чем у тепловоза ТЭЗ, выпущенного в 1953 г. Если бы мы сравнивали эффективность по КПД тепловоза, то

Таблица 5

Технические характеристики и индикатор эффективности тепловозов на секцию

Table 5

Technical features and efficiency indicator of diesel locomotives per section

| Тепловоз             | Сила тяги<br>длительная,<br>кН | Скорость<br>длительного режима,<br>км/ч | Расход топлива<br>(номинальный режим),<br>кг/ч | Индикатор<br>эффективности,<br>кДж/ч | Относительная<br>величина |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| ТЭЗ                  | 186,4                          | 20                                      | 340                                            | $9,53 \cdot 10^5$                    | 1,00                      |
| ТЭ10                 | 245                            | 24,6                                    | 478,7                                          | $1,78 \cdot 10^6$                    | 1,90                      |
| 2ТЭ116               | 247,9                          | 24,7                                    | 261                                            | $1,91 \cdot 10^6$                    | 2,00                      |
| 2ТЭ25К <sup>2М</sup> | 324                            | 28,35                                   | 654,5                                          | $3,02 \cdot 10^6$                    | 3,41                      |

повышение эффективности составило бы только 1,1. Аналогичная картина наблюдается и при сравнении других транспортных средств.

**Заключение.** Разработка создаваемых типов подвижного состава проводится на основании ряда технико-экономических и эксплуатационно-коммерческих характеристик, определяемых для безусловного выполнения прогнозных показателей грузовых и пассажирских перевозок. Однако в настоящее время для оценки характеристик подвижного состава применяют граничные, т. е. максимальные показатели без учета реальных режимов эксплуатации. Это обстоятельство приводит к универсализации транспортных средств без привязки к конкретному полигону эксплуатации, что, в свою очередь, приводит к нерациональному использованию и перерасходу топливно-энергетических ресурсов. Для определения рациональных характеристик подвижного состава требуется разработка новых подходов к оценке эффективности транспортных средств с учетом интенсивности их эксплуатации.

Анализ критериев оценки эффективности транспортных средств автомобильного, водного и железнодорожного транспорта показал, что количественная оценка эффективности транспортного средства по одному частному критерию, например КПД силовой установки, может приводить к существенным неточностям в итоговой оценке эффективности из-за неучета ряда факторов.

Для корректной оценки эффективности транспортных средств следует применять систему критериев, учитывающую не только КПД транспортного средства, но и интенсивность его использования. Таким комплексным критерием для железнодорожного транспорта может быть произведение среднеексплуатационного КПД и производительности транспортных средств.

В настоящее время проводится системная работа по созданию математического аппарата для корректной оценки показателей поездной работы тепловозов, что позволит с необходимой точностью и достоверностью вычислять критерий эффективности транспортного средства, целевое значение которого планируется

внести в электронный формуляр каждого тепловоза на сети железных дорог ОАО «РЖД».

Также значительную практическую ценность имеет возможность количественной оценки эффективности подвижного состава одного назначения различных годов выпуска.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]: официальный сайт. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 11.02.2021).
2. Алабужев П. М., Алимов О. Д., Шеховцев Б. А. Применение теории подобия и размерностей к выбору параметров автомашин // Известия Томского политехнического института. 1965. № 129. С. 71–84.
3. Мочалин С. М., Заруднев Д. И. Об оценке эффективности автотранспортных средств // Мир транспорта. 2009. № 2. С. 70–73.
4. Долгушин А. А., Воронин Д. М. Методика интегральной оценки эффективности эксплуатации автомобилей // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (24). С. 183–188.
5. Менухова Т. А., Солодкий А. И. Экономическая эффективность эксплуатации автомобиля // Записки Горного института. 2016. № 219. С. 444–448.
6. Кондратьев А. Е. Определение наиболее оптимальных сегментов использования экологически чистых автотранспортных средств в российских городах // Теория и практика общественного развития. 2012. № 6. С. 203–206.
7. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте [Электронный ресурс]: введены в действие распоряжением Минтранса России от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р (в ред. на 30 сентября 2021 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902092963> (дата обращения: 23.09.2021).
8. Пеньшин Н. В. Оценка эффективности функционирования автомобильного транспорта // Вопросы современной науки и практики. 2008. № 1 (11). С. 89–98.
9. Абдукаримов И. Т. Факторный анализ и методика цепных подстановок // Актуальные вопросы экономики и управления. 2015. № 2. С. 8–12.
10. Штрек А. А. Современные тенденции и вызовы при проектировании арктических транспортных судов // Российская Арктика. 2019. № 5. С. 30–35.
11. Гусейнов М. Р. Обоснование выбора критериев эффективности транспортных судов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2010. № 18. С. 89–95.

12. Бурханов С.Б., Кучеренко Л.В. Разработка оптимального варианта транспортного обеспечения добывающих судов охотоморской экспедиции // Научные труды Дальрыбвтуза. 2015. № 34. С. 51–57.
  13. Бурханов С.Б., Кучеренко Л.В., Баштовая Е.Д. Оптимизация работы судов танкерного флота при обслуживании рыбопромысловых экспедиций // Научные труды Дальрыбвтуза. 2013. № 30. С. 173–182.
  14. Май Ван Куан. Оптимизация характеристик спасательных судов и пополнения спасательного флота Вьетнама // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технологии. 2013. № 2. С. 34–45.
  15. Иванченко А.А., Петров А.П., Жевлюк Г.Е. Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 3(31). С. 103–112.
  16. Павловский В.А., Реуцкий А.С. Обоснование характеристик грузовой системы бункеровщиков сжиженного природного газа // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. № 2. С. 191–199.
  17. Шурпак В.К., Гришкин В.В. О конструктивном коэффициенте энергетической эффективности судов ледового плавания // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2013. № 36. С. 191–212.
  18. Гильмияров Е.Б., Цветков В.В. Многокритериальный подход к выбору судовой энергетической установки // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2006. № 3. С. 502–513.
  19. Инновационные методы оценки эффективности работы тепловозов / Е.Е. Коссов [и др.] // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всерос. науч.-техн. конф. к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта: в 2 ч. / под ред. А.Б. Косарева, Г.В. Гогричани. М.: РАС, 2019. Ч. 2. С. 127–134.
  20. ГОСТ Р 56828.29–2017. Наилучшие доступные технологии. Энергосбережение. Порядок определения показателей (индикаторов) энергоэффективности: нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 2017–12–01. М.: Стандартинформ, 2017. 19 с.
  21. Методика расчета индикатора энергетической эффективности (ИЭЭФ) тепловоза: утв. ОАО «РЖД» 26 декабря 2014 г. № 516 / ОАО «РЖД». М., 2014. 42 с.
  22. Коссова Л.Е., Коссов Е.Е., Фурман В.В. Индикатор энергетической эффективности транспортного средства // Локомотивы. Транспортно-технологические комплексы. XXI век: сб. материалов V Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 180-летию железных дорог России (Санкт-Петербург, 14–16 ноября 2017 г.) / Петербургский гос. ун-т путей сообщения императора Александра I (ПГУПС). СПб.: ПГУПС, 2017. С. 365–368.
  23. Бабел М. Теоретические основы и методология выбора объемов и технологий модернизации тепловозов по критерию стоимости жизненного цикла: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. М., 2014. 266 с.
- ## REFERENCES
1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Federal State Statistics Service]: ofitsial'nyy sayt [official site]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (access date: 11.02.2021). (In Russ.).
  2. Alabuzhev P.M., Alimov O.D., Shekhovtsev B.A. Primenenie teorii podobiya i razmernostey k vyboru parametrov avtomashin [Application of the theory of similarity and dimensions to the choice of car parameters]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute*. 1965;(129):71–84. (In Russ.).
  3. Mochalin S.M., Zarudnev D.I. Ob otsenke effektivnosti avtotransportnykh sredstv [On the assessment of the efficiency of vehicles]. *Mir transporta = World of Transport and Transportation*. 2009;(2):70–73. (In Russ.).
  4. Dolgushin A.A., Voronin D.M. Metodika integral'noy otsenki effektivnosti ekspluatatsii avtomobiley [Methods of integral assessment of the efficiency of car operation]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2016;4(24):183–188. (In Russ.).
  5. Menukhova T.A., Solodkiy A.I. Ekonomicheskaya effektivnost' ekspluatatsii avtomobilya [Economic efficiency of car operation]. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2016;(219):444–448. (In Russ.).
  6. Kondrat'ev A.E. Opredelenie naibolee optimal'nykh segmentov ispol'zovaniya ekologicheskikh chistykh avtotransportnykh sredstv v Rossiyskikh gorodakh [Determination of the most optimal segments for the use of environmentally friendly vehicles in Russian cities]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya = Theory and practice of social development*. 2012;(6):203–206. (In Russ.).
  7. Normy raskhoda topliv i smazochnykh materialov na avtomobil'nom transporte [Norms of consumption of fuels and lubricants in road transport]: vvedeny v deystvie rasporyazheniem Mintransa Rossii ot 14 marta 2008 g. № AM-23-r [put into effect by Order of the Ministry of Transport of Russia dated March 14, 2008 No. AM-23-r (as amended on September 30, 2021)]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902092963> (access date: 23.09.2021). (In Russ.).
  8. Pen'shin N.V. Otsenka effektivnosti funktsionirovaniya avtomobil'nogo transporta [Evaluation of the effectiveness of the functioning of road transport]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki = Issues of modern science and practice*. 2008;1(11):89–98. (In Russ.).
  9. Abdulkarimov I.T. Faktornyy analiz i metodika tsepykh podstanovok [Factor analysis and methods of chain substitutions]. *Aktual'nye voprosy ekonomiki i upravleniya = Actual problems of economics and management*. 2015;(2):8–12. (In Russ.).
  10. Shtrek A.A. Sovremennye tendentsii i vyzovy pri proektirovani arkticheskikh transportnykh sudov [Modern trends and challenges in the design of Arctic transport ships]. *Rossiyskaya Arktika = Russian Arctic*. 2019;(5):30–35. (In Russ.).
  11. Guseynov M.R. Obosnovanie vybora kriteriev effektivnosti transportnykh sudov [Substantiation of the choice of criteria for the effectiveness of transport courts]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = Herald of the Dagestan State Technical University. Technical sciences*. 2010;(18):89–95. (In Russ.).
  12. Burkhanov S.B., Kucherenko L.V. Razrabotka optimal'nogo varianta transportnogo obespecheniya dobyvayushchikh sudov okhotomorskoy ekspeditsii [Development of an optimal variant of transport support for the mining vessels of the Sea of Okhotsk expedition]. *Nauchnye trudy Dal'rybvtuza = Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*. 2015;(34):51–57. (In Russ.).
  13. Burkhanov S.B., Kucherenko L.V., Bashtovaya E.D. Optimizatsiya raboty sudov tankernogo flota pri obsluzhivani rybpromyslovyykh ekspeditsiy [Optimization of the operation of tanker fleet vessels in servicing fishing expeditions]. *Nauchnye trudy Dal'rybvtuza = Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*. 2013;(30):173–182. (In Russ.).
  14. May Van Kuan. Optimizatsiya kharakteristik spasatel'nykh sudov i popolneniya spasatel'nogo flota V'etnama [Optimization of the features of rescue ships and replenishment of the rescue fleet of Vietnam]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologii = Vestnik of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2013;(2):34–45. (In Russ.).
  15. Ivanchenko A.A., Petrov A.P., Zhevlyuk G.E. Energeticheskaya effektivnost' sudov i reglamentatsiya vybrosov parnikovyykh gazov [Energy efficiency of ships and regulation of greenhouse gas emissions]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova = Bulletin of the State University of Marine and River Fleet. Admiral S. O. Makarov*. 2015;3(31):103–112. (In Russ.).
  16. Pavlovskiy V.A., Reutskiy A.S. Obosnovanie kharakteristik gruzovoy sistemy bunkerovshchikov szhizhennogo prirodnogo gaza [Substantiation of the features of the cargo system of bunkerers of liquefied natural gas]. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra = Proceedings of the Krylov State Research Center*. 2018;(2):191–199. (In Russ.).

17. Shurpyak V. K., Grishkin V. V. O konstruktivnom koeffitsiente energeticheskoy effektivnosti sudov ledovogo plavaniya [On the constructive coefficient of energy efficiency of ice navigation vessels]. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik rossiyskogo morskogo registra sudokhodstva = Research Bulletin by Russian Maritime Register of Shipping*. 2013;(36):191–212. (In Russ.).

18. Gil'miyarov E. B., Tsvetkov V. V. Mnogokriterial'nyy podkhod k vyboru sudovoy energeticheskoy ustanovki [A multi-criteria approach to the choice of a ship power plant]. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of MSTU. Scientific journal of Murmansk State Technical University*. 2006;(3):502–513. (In Russ.).

19. Kossow E. E., Silyuta A. G., Kossova L. E., et al. Innovatsionnye metody otsenki effektivnosti raboty teplovozov [Innovative methods for evaluating the efficiency of diesel locomotives]. Aktual'nye voprosy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta: materialy Vseros. nauch.-tekhn. konf. k 75-letiyu aspirantury Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta: v 2 ch. / pod red. A. B. Kosareva, G. V. Gogrichiani [Actual issues of development of railway transport: materials of the All-Russian scientific and technical conference for the 75<sup>th</sup> anniversary of the postgraduate study of the Railway Research Institute: in 2 parts / under edition of A. B. Kosarev, G. V. Gogrichiani]. Moscow: RAS Publ.; 2019. Part 2. P. 127–134. (In Russ.).

20. GOST R 56828.29–2017. Nailuchshie dostupnye tekhnologii. Energoberezhenie. Poryadok opredeleniya pokazateley (indikatorov) energoeffektivnosti: nats. standart Rossiyskoy Federatsii [The best available technologies. Energy saving. The procedure for determining indicators (indicators) of energy efficiency: nat. standard of the Russian Federation]. Moscow: Standartinform Publ.; 2017. 19 p. (In Russ.).

21. Metodika rascheta indikatora energeticheskoy effektivnosti (IEEF) teplovoza: utv. OAO "RZHD" 26 dekabrya 2014 g. № 516 [Methodology for calculating the energy efficiency indicator (IEEF) of a diesel locomotive: approved by JSC Russian Railways December 26, 2014 No. 516]. Moscow: JSC Russian Railways Publ.; 2014. 42 p. (In Russ.).

22. Kossova L. E., Kossow E. E., Furman V. V. Indikator energeticheskoy effektivnosti transportnogo sredstva [Indicator of vehicle energy efficiency]. Lokomotivy. Transportno-tekhnologicheskie komplekсы. XXI vek: sb. materialov V Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy 180-letiyu zheleznikh dorog Rossii (Sankt-Peterburg, 14–16 noyabrya 2017 g.) [Locomotives. Transport and technological complexes. XXI century: coll. of materials of the V International scientific and technical conference dedicated to the 180<sup>th</sup> anniversary of the railways of Russia (St. Petersburg, November 14–16, 2017)]. St. Petersburg: PGUPS Publ.; 2017. P. 365–368.

23. Babel M. Teoreticheskie osnovy i metodologiya vybora ob'emov i tekhnologiy modernizatsii teplovozov po kriteriyu stoimosti zhiznennogo tsikla: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Theoretical foundations and methodology for the choice of volumes and technologies for the modernization of diesel locomotives according to the criterion of life cycle cost: Diss ... Dr. Tech. Sci.]. Moscow; 2014. 266 p. (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Анатолий Геннадьевич СИЛЮТА**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Тепловозы», научный центр «Тяга поездов», АО «ВНИИЖТ», Author ID: 933004, <https://orcid.org/0000-0001-9511-1704>

**Артур Геннадьевич СИЛЮТА**, младший научный сотрудник, ФГБУ «НИИЦ ЖДВ», <https://orcid.org/0000-0002-6622-5902>

**Денис Михайлович МАЯКОВ**, аспирант, кафедра «Электропоезда и локомотивы», ФГАОУ ВО «РПТ» (МИИТ), Author ID: 1096036, <https://orcid.org/0000-0003-1597-3246>

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Anatoliy G. SILYUTA**, Cand. of Sci. (Engineering), Head of the Laboratory "Diesel Locomotives", Research Center "Traction of Trains", JSC "VNIIZhT", Author ID: 933004, <https://orcid.org/0000-0001-9511-1704>

**Artur G. SILYUTA**, Junior Researcher, FGBU "NIITs ZhDV", <https://orcid.org/0000-0002-6622-5902>

**Denis M. MAYAKOV**, Post-Graduate, Department "Electric Trains and Locomotives", FGAOU VO "RUT" (MIIT), Author ID: 1096036, <https://orcid.org/0000-0003-1597-3246>

## ВКЛАД АВТОРОВ

**Анатолий Геннадьевич СИЛЮТА**. Формирование цели исследования, сбор и структурирование материалов по направлению «Железнодорожный транспорт», обобщение материалов по направлениям исследования, формулировка выводов (50 %).

**Артур Геннадьевич СИЛЮТА**. Сбор и структурирование материалов по направлению «Автомобильный транспорт», редактирование и переработка статьи (30 %).

**Денис Михайлович МАЯКОВ**. Сбор и структурирование материалов по направлению «Водный транспорт» (20 %).

## CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

**Anatoliy G. SILYUTA**. Formation of the research goal, collection and structuring of materials in the section of "Railway transport", generalization of materials in the areas of research, formulation of conclusions (50 %).

**Artur G. SILYUTA**. Collection and structuring of materials in the section of "Motor transport", editing and revision of the article (30 %).

**Denis M. MAYAKOV**. Collection and structuring of materials in the section of "Water transport" (20 %).

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The authors have read and approved the final manuscript.*

**Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

**Financial transparency:** the authors have no financial interest in the presented materials and methods. There is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 29.09.2021, первая рецензия получена 22.11.2021, вторая рецензия получена 10.01.2022, принята к публикации 21.01.2022.

The article was submitted 29.09.2021, first review received 22.11.2021, second review received 10.01.2022, accepted for publication 21.01.2022.