
ПРОБЛЕМАТИКА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

УДК 629.4.016.3

Оценка энергоэффективности скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта

О. С. Валинский, Н. П. Калинин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Валинский О. С., Калинин Н. П. Оценка энергоэффективности скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 4. С. 7–14. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-7-14

Аннотация

Цель: анализ и определение критериев энергоэффективности скоростного и высокоскоростного железнодорожного транспорта. **Методы:** разработка комплексной системы показателей для оценки эффективности производства на железнодорожном транспорте с учетом специфики различных видов перевозок и технологических процессов, в частности энергетической эффективности высокоскоростного и скоростного подвижного состава, ориентированной на практическую значимость и экономическую обоснованность результатов. **Результаты:** обозначена эффективность высокоскоростного подвижного состава, дана оценка энергоэффективности высокоскоростного подвижного состава, рассмотрены индикаторы энергоэффективности железнодорожных перевозок, произведен анализ отличий высокоскоростного поезда от обычного, рассмотрена система оценки энергоэффективности высокоскоростных железнодорожных перевозок, рассмотрена энергетическая эффективность высокоскоростных перевозок относительно повышения скоростей движения. **Практическая значимость:** использование абсолютных показателей энергопотребления для более точной оценки эффективности железнодорожных перевозок не позволяет адекватно оценить масштабы производственной деятельности. Удельные показатели, такие как энергоемкость на тонно-километр нетто, хотя и являются более информативными, не учитывают разнообразия технологических процессов и подвижного состава в железнодорожной отрасли. Данная статья позволит пересмотреть существующую оценку энергопотребления высокоскоростных поездов, рассмотреть использование данного показателя в оценивании эффективности энергопотребления высокоскоростных поездов в России.

Ключевые слова: расход энергии, энергоэффективность, оценка энергоэффективности, расход энергии на тягу поезда, скоростной поезд, высокоскоростной поезд, приведенный т·км, кВт·ч/место·км.

Введение

Высокоскоростные железные дороги (ВСМ) являются наиболее предпочтительным видом транспорта благодаря своей высокой эффективности и энергоэффективности, что является важной причиной того, что в мире придается

большое значение развитию ВСМ. Дефицит энергии, загрязнение окружающей среды и завышенные цены на энергоносители стали основными проблемами экономического развития и повышения уровня жизни людей. Спрос на энергоносители очень высок, в то время как пропускная способность окружающей среды низкая. Хотя увеличение скорости железных дорог и широкомасштабная эксплуатация электропоездов повысили эффективность транспортировки, существует острая необходимость в точном измерении, анализе и оптимизации энергопотребления ВСМ, что также требуется для организации ВСМ, учета затрат, ценообразования на транспортировку, расчета доходов и т. д. Поэтому энергопотребление высокоскоростного транспорта стало центром внимания. Однако на энергопотребление при высоких скоростях движения электропоездов влияет большое количество факторов. Поэтому исследование энергопотребления высокоскоростных электропоездов имеет практическое значение. В статье рассмотрены показатели, которые используются для определения энергоэффективности высокоскоростных и скоростных железнодорожных перевозок в мире. Рассматриваются вопросы определения показателей энергоэффективности данных видов движения [1, 2].

Оценка энергоэффективности

В условиях современных рыночных отношений оценка энергоэффективности транспортного средства играет особую роль. Для определения эффективности перевозочного процесса существует ряд показателей, основным из них считается удельный расход топливно-энергетических ресурсов на единицу продукции. Данный показатель показывает расход топливно-энергетических ресурсов, приходящийся на единицу выполненной работы.

Для высокоскоростных и скоростных пассажирских перевозок показателем служит расход топливно-энергетических ресурсов, приведенный к перевезенному пассажиропотоку. Во всех регионах мира, независимо от развития высокоскоростного движения, пассажирские перевозки имеют меньший удельный расход энергии относительно пассажирских перевозок на автомобильном или авиационном транспорте. Оценку энергоэффективности железнодорожного транспорта в целом производят, используя показатель расхода энергии, приведенный к 1 км пути.

Учитывая то, что мы сравниваем энергопотребление высокоскоростной железной дороги с показателями обычной железной дороги, такое сравнение будет основываться на эмпирической проверке и результатах анализа при условии, что производится дифференциация по другим переменным (кроме скорости), напрямую связанным с типом используемого подвижного состава. Фактически высокоскоростные поезда и линии, по которым они курсируют, отличаются от обычных, а различия, кроме скорости, могут касаться составности поезда, компоновки салона, системы энергоснабжения, типа тягового привода, количества остановок и т. д.

Оценка энергоэффективности на железнодорожном транспорте производится путем сопоставления потребляемой энергии с объемом выполненных перевозок. В грузовых перевозках основным показателем является тонно-километр (т·км), отражающий массу груза и расстояние перевозки. Для пассажирских перевозок используется пассажиро-километр (пасс. км).

В России и за рубежом (где их называют «единица измерения перевозочной деятельности» или «транспортная единица») применяется приведенный тонно-километр, представляющий собой сумму тонно-километров и пассажиро-километров.

Однако этот показатель не учитывает множество факторов, влияющих на энергопотребление, таких как тип подвижного состава, загрузка вагонов и средняя масса пассажира. Более точную оценку обеспечивает показатель «тонно-километры брутто», который учитывает вес всего состава поезда (включая вагоны и локомотив) и позволяет сравнивать энергоэффективность различных типов подвижного состава [3–8].

Для измерения энергопотребления железнодорожного транспорта используются различные единицы: условное топливо (кг у. т.), дизельное топливо (кг д. т., л), электрическая энергия (кВт·ч). В современной практике все чаще применяется международная система единиц СИ, где единицами измерения энергопотребления являются джоуль (Дж) и его производные (кДж, МДж, ГДж, ТДж).

Сравнение энергоэффективности высокоскоростных и обычных железнодорожных перевозок — сложная задача, требующая комплексного анализа множества факторов. Для получения достоверных результатов необходимо использовать дифференцированный подход и учитывать специфику каждого типа перевозок. При выборе показателей эффективности следует учитывать как объемы выполненной транспортной работы, так и энергопотребление различных типов подвижного состава.

В табл. 1 показаны индикаторы энергетической эффективности.

ТАБЛИЦА 1. Индикаторы энергетической эффективности

Индикатор эффективности	Содержание
выручка от пассажирских перевозок	показывает долю покрытия общих операционных расходов железной дороги за счет тарифных доходов, в том числе при помощи государственного финансирования
поездо-километр	показывает расходы на пробег поездов
тонно-километр нетто	показывает расходы на перевоз груза в зависимости от веса и расстояния
пассажирооборот (пассажиро-километр)	показывает расходы на количество перевезенных пассажиров на определенное расстояние
кВт·ч/место·км	показывает расход энергии при перевозке одного пассажира на определенное расстояние

При анализе причин различий в расходе высокоскоростного поезда и пассажирского поезда целесообразно иметь в виду, что принципиальные различия между двумя типами систем проявляются в трех областях:

- 1) тип подвижного состава;
- 2) иная планировка и новая инфраструктура (в отличие от улучшения существующей инфраструктуры);
- 3) другая форма работы (меньше остановок).

Высокоскоростной поезд — это основной элемент системы перевозок. Поэтому нецелесообразно сравнивать только некоторые его характеристики, иначе можно прийти к выводу, что минимальное потребление достигается у очень легких, современных и дорогих поездов на линиях с удобной инфраструктурой и при движении их на средних скоростях для высокоскоростного движения и без коммерческих остановок, но тогда пришлось бы задаться вопросом о том, почему были построены линия и поезд с такими характеристиками [8].

Для оценки энергопотребления принято использовать единицу веса условного топлива или кВт·ч расходуемой электрической энергии, однако в международной концепции следует приводить данные единицы измерения к джоулям потраченной энергии.

В высокоскоростных и скоростных перевозках наибольшая часть энергопотребления подвижного состава приходится на расход энергии на тягу. В силу того что более 95 % высокоскоростных перевозок в мире производится электрической тягой (как локомотивной, так и моторвагонной), парк подвижного состава оснащен системами электрического торможения, которые позволяют существенно экономить топливно-энергетические ресурсы [9].

Ранее было отмечено, что высокоскоростное движение требует определенной составности подвижного состава, легких и аэродинамических поездов, потому что при увеличении скоростей движения выше 200 км/ч аэродинамическая составляющая основного сопротивления движения негативно влияет на расход энергии, а также системы электроснабжения, которая может обеспечить его высокую производительность. Без этих составляющих реализация высокой скорости перевозок была бы невозможна, поэтому сравнение должно включать все перечисленные факторы.

Высокоскоростной и скоростной железнодорожный транспорт существенно отличается от традиционного по своим эксплуатационным характеристикам. Движение поездов на максимально допустимых скоростях требует оптимизации режимов работы тягового привода для достижения высоких значений коэффициента полезного действия (КПД). Это позволяет значительно сократить потери электроэнергии на тягу. Кроме того, сокращение времени в пути ведет к уменьшению расходов энергии на вспомогательные системы, такие как кондиционирование, освещение и другие, обеспечивающие комфорт пассажиров. Таким образом, основная часть потребляемой энергии приходится непосредственно на тягу поезда.

Для объективной оценки энергоэффективности различных моделей высокоскоростных поездов, которые имеют существенные конструктивные и эксплуатационные отличия в разных регионах мира, применяется специальный показатель — удельный расход электроэнергии на одного пассажира на единицу пройденного пути. Этот показатель учитывает как энергетические затраты на движение поезда, так и его пассажироместимость, позволяя сравнивать различные типы подвижного состава, независимо от фактической заполняемости поездов [10].

На диаграмме (рис. 1) видно, что энергопотребление, выраженное в кВт·ч/место·км, возрастает практически пропорционально скорости движения. Пропорциональность зависимости можно объяснить тем, что с повышением максимальной скорости движения новых высокоскоростных электропоездов совершенствуется обтекаемость кузова. Из графика времени хода следует, что повышение максимальной скорости движения в диапазоне от 300 до 350 км/ч несущественно понижает время поезда в пути, поэтому оптимальной следует считать скорость движения в пределах 320 км/ч, так как соотношение затраченной энергии согласуется с минимизацией времени поезда в пути.

Метод сравнения затрат на электроэнергию по отношению к доходу от произведенной перевозки имеет недостатки, поскольку удельный доход, генерируемый

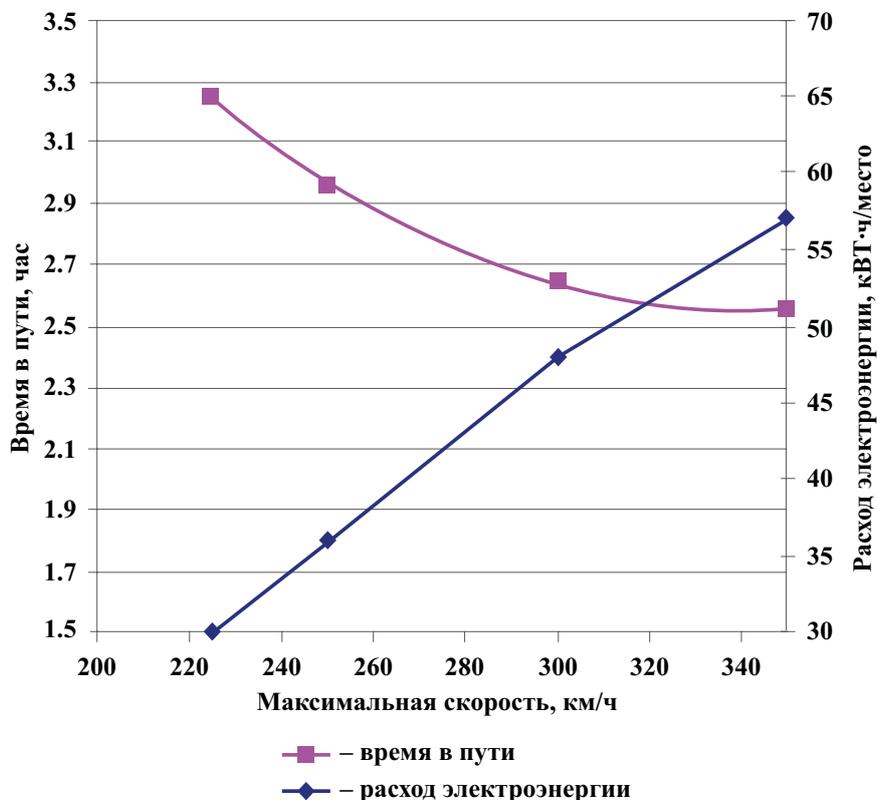


Рис. 1. Зависимость расхода электроэнергии и времени в пути от скорости движения

каждой единицей перевозок (пассажиро-километр), значительно варьируется в зависимости от конкретного типа перевозок.

Несмотря на то что этот фактор (доход на пассажиро-километр) представляет собой пример готовности пассажиров платить за увеличение средней скорости поездов (даже если им пришлось платить больше за увеличение энергопотребления), с технической точки зрения количество потребляемой энергии на пассажиро-километр является более важным показателем, чем возросшие затраты на энергию относительно общего дохода [11].

Заключение

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что, если все остальные переменные — как переменные инфраструктуры (профиль, скорость, напряжение питания), так и переменные поезда (масса, размер, форма, эффективность) — остаются идентичными, потребление энергии увеличивается по мере увеличения максимальной и средней скорости движения.

С точки зрения возрастающего энергопотребления на движение при условии сокращения времени хода оптимальной следует считать скорость движения высокоскоростных электропоездов в пределах 320 км/ч.

Библиографический список

1. Сравнение воздействия на окружающую среду традиционного и высокоскоростного железнодорожного транспорта: отчет компании Network Rail (Великобритания). 2010. 60 с.
2. Косарев А. Б. Научное обеспечение роста энергоэффективности и экологической безопасности железнодорожного транспорта. Подходы и потенциал // Бюл. объедин. учен. совета ОАО «РЖД». 2015. № 5. С. 1–15.
3. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: справ.-метод. изд. / В. А. Гапанович [и др.]; под ред. В. А. Гапановича. М.: Интехэнергоиздат; Теплоэнергетик, 2014. 304 с.
4. Гапанович В. А. Энергоэффективность — путь к снижению затрат и к экологической безопасности // Железнодорожный транспорт. 2014. № 8. С. 22–25.
5. Энергосбережение на железнодорожном транспорте: учебник / А. А. Бакланов [и др.]. М.: МИСиС, 2012. 619 с.
6. Проект OSIRIS: оценка энергопотребления подвижного состава // Железные дороги мира. 2015. № 12. С. 45–48.
7. Перспективы грузовых железнодорожных перевозок в Европе // Железные дороги мира. 2015. № 3. С. 30–34.
8. Системный подход к эффективности энергопотребления // Железные дороги мира. 2015. № 9. С. 33–36.
9. Игин В. Н. Энергоэффективность локомотивов: планирование и прогнозирование // Локомотив. 2016. № 4. С. 10–13.

10. Оценки энергоэффективности работы железнодорожного транспорта применением специализированных удельных единиц измерения / Т. С. Титова [и др.] // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2017. Т. 17. Вып. 1. С. 119–126.

11. The future of rail. Opportunities for energy and the environment: отчет компании IEA (Франция). 2019. 175 с.

Дата поступления: 09.10.2024

Решение о публикации: 06.11.2024

Контактная информация:

ВАЛИНСКИЙ Олег Сергеевич — канд. техн. наук, профессор; rector@pgups.ru

КАЛИНИН Николай Павлович — аспирант, инженер; nikolaykalinin1997@gmail.com

Energy efficiency assessment of high-speed and high-speed rail transport

O. S. Valinsky, N. P. Kalinin

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: Valinsky O. S., Kalinin N. P. Energy efficiency assessment of high-speed and high-speed rail transport // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 4. P. 7–14. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-04-7-14

Abstract

Purpose: analysis and definition of energy efficiency criteria for high-speed and high-speed rail transport.

Methods: development of a comprehensive system of indicators for assessing the efficiency of production in rail transport, taking into account the specifics of various types of transportation and technological processes, in particular the energy efficiency of high-speed and high-speed rolling stock, focused on the practical significance and economic feasibility of the results. **Results:** the efficiency of high-speed rolling stock is indicated, the energy efficiency of high-speed rolling stock is assessed, the indicators of energy efficiency of rail transportation are considered, the differences between a high-speed train and a conventional train are analyzed, the system for assessing the energy efficiency of high-speed rail transportation is considered, the energy efficiency of high-speed transportation is considered in relation to increasing travel speeds.

Practical significance: the use of absolute energy consumption indicators for a more accurate assessment of the efficiency of rail transportation does not allow for an adequate assessment of the scale of production activities. Specific indicators, such as energy intensity per net ton-kilometer, although more informative, do not take into account the diversity of technological processes and rolling stock in the railway industry. This article will allow us to revise the existing assessment of the energy consumption of high-speed trains, and will allow us to consider the use of this indicator in assessing the efficiency of energy consumption of high-speed trains in Russia.

Keywords: energy consumption, energy efficiency, energy efficiency assessment, energy consumption for train traction, high-speed train, high-speed train, reduced tkm, kW·h/seat·km.

References

1. Sravnenie vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu tradicionnogo i vysokoskorostnogo zheleznodorozhnogo transporta: otchet kompanii Network Rail (Velikobritaniya). 2010. 60 s. (In Russian)
2. Kosarev A.B. Nauchnoe obespechenie rosta energoeffektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti zheleznodorozhnogo transporta. Podhody i potencial // Byul. ob'ed. uchen. soveta OAO "RZhD". 2015. No. 5. S. 1–15. (In Russian)
3. Energoberezhenie na zheleznodorozhnom transporte: sprav.-metod. izd. / V.A. Gapanovich [i dr.]; pod red. V.A. Gapanovicha. M.: Intekhenergoizdat; Teploenergetik, 2014. 304 s. (In Russian)
4. Gapanovich V.A. Energoeffektivnost' — put' k snizheniyu zatrat i k ekologicheskoy bezopasnosti // Zheleznodorozhnyj transport. 2014. No. 8. S. 22–25. (In Russian)
5. Energoberezhenie na zheleznodorozhnom transporte: uchebnik / A.A. Baklanov [i dr.]. M.: MISiS, 2012. 619 s. (In Russian)
6. Proekt OSIRIS: oценка energopotrebleniya podvizhnogo sostava // Zheleznye dorogi mira. 2015. No. 12. S. 45–48. (In Russian)
7. Perspektivy gruzovyh zheleznodorozhnyh perevozok v Evrope // Zheleznye dorogi mira. 2015. No. 3. S. 30–34. (In Russian)
8. Sistemnyj podhod k effektivnosti energopotrebleniya // Zheleznye dorogi mira. 2015. No. 9. S. 33–36. (In Russian)
9. Igin V.N. Energoeffektivnost' lokomotivov: planirovanie i prognozirovanie // Lokomotiv. 2016. No. 4. S. 10–13. (In Russian)
10. Ocenki energoeffektivnosti raboty zheleznodorozhnogo transporta primeneniem specializirovannyh udel'nyh edinic izmereniya / T.S. Titova [i dr.] // Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya. 2017. T. 17. Vyp. 1. S. 119–126. (In Russian)
11. The future of rail. Opportunities for energy and the environment: otchet kompanii IEA (Franciya). 2019. 175 s.

Received: 09.10.2024

Accepted: 06.11.2024

Author's information:

Oleg S. VALINSKY — PhD in Engineering, Professor; rector@pgups.ru

Nikolay P. KALININ — Postgraduate Student, Engineer; nikolaykalinin1997@gmail.com