

# Эксплуатационный КПД электровозов как показатель эффективности их использования

А. С. КУРБАСОВ, доктор техн. наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения



**Сокращение расхода электроэнергии на единицу физической работы по грузоперевозкам — одна из актуальных задач, стоящих сегодня перед Российскими железными дорогами. Чтобы ускорить ее решение, необходимо привлечь внимание эксплуатационные факторы, влияющие на расход энергии в грузоперевозках, и ввести такой параметр, как эксплуатационный коэффициент полезного действия (КПД) электровоза.**

Российские железные дороги выполняют основную долю грузовых перевозок страны, являясь при этом крупнейшим потребителем электроэнергии. Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 г. и на перспективу до 2030 г. — объемная и содержательная программа, в которой с учетом всех видов перевозок, локомотивов и вагонов, стационарной энергетики намечены масштабные работы по развитию перевозок и инфраструктуры. Однако, на наш взгляд, стратегия нуждается в дополнении: в ней должно быть учтено влияние условий эксплуатации грузовых электровозов на перерасход электроэнергии. В связи с этим мы считаем целесообразным ввести понятие «эксплуатационный КПД электровоза». Данный параметр играет ключевую роль в оценке расхода электроэнергии на тягу поездов в грузовом движении и является инструментом анализа возможностей сокращения расходов.

## Расчет и обоснование КПД

Условия реализации тяги на дорогах Российской Федерации разнообразны, поэтому в расчетах будем использовать сетевые показатели перевозок грузов.

Приблизительно оценим возможное значение эксплуатационного КПД электровозов. Известен расход условного топлива (у. т.) на измеритель (10<sup>4</sup> т-км): для тепловозов он составляет 37,3 кг у. т., у электровозов — 66,5 кг у. т. КПД дизеля тепловоза в расчетном режиме — 0,32. С учетом работы дизеля на стоянках и потерь в другом оборудовании эксплуатационный КПД тепловозов равен примерно 0,25. Тогда эксплуатационный КПД электровоза составит

$$0,25 \times 66,5 / 37,3 = 0,446.$$

Полученное значение КПД существенно ниже КПД электровоза ВЛ80С в расчетном длительном режиме (0,84), поэтому оно нуждается хотя бы в приближенном обосновании, которое следует ниже.

Ясно, что радикально изменить КПД расчетного режима практически невозможно, но увеличить эксплуатационный КПД с учетом влияющих на него факторов — задача выполнимая. В этом состоит ценность введенного понятия — которое, кстати, используется специалистами-тепловозниками (хотя и не очень четко обозначено).

Прежде всего, необходима физическая интерпретация показателей грузовой работы. Основной показатель — грузооборот (т-км):

$$Г = 365 \times П_э \times n_э,$$

$$\text{при этом } П_э = m_п \times V \times t_2 \text{ (т-км),}$$

где  $П_э$  — среднесуточная производительность электровоза, т-км;

$n_э$  — эксплуатационный парк электровозов;

$m_п$  — масса поезда, т;

$V$  — скорость, км/ч.

Физическую работу (в т-км) можно представить как 1 т-км = 106 кгм, а это показатель энергии, значит, грузооборот — это энергия, потребляемая электровозами из сети. Ее следует представить в киловатт-часах исходя из связи:

$$1 \text{ кВт} = 3,6 \times 106 \text{ Дж} = 3,6 \times 106 \times 0,102 \text{ кг} = 0,367 \text{ т-км.}$$

Этот переход может быть полезен для вычислений и понимания физического смысла параметров перевозок.

Грузооборот измеряется в тонно-километрах (брутто), погрузка — в тоннах (нетто). Коэффициент тары вагона

$$k = Q_t / Q_n,$$

где  $Q_t$  — масса тары.

Следовательно, уменьшая массу тары вагона, получаем экономию электроэнергии и дополнительную прибыль от сокращения числа вагонов на ту же погрузку.

## Факторы перерасхода

Обозначим факторы, приводящие в грузовых перевозках к перерасходу электроэнергии.

- Неполная загрузка электровозов в эксплуатации. Электровоз ВЛ80С на лимитирующем участке (подъеме) должен реализовывать мощность длительного режима 6160 кВт при скорости 53,6 км/ч и силе тяги 400 кН. Как показано в [1, 2], в эксплуатации скорость на подъеме порядка 32–35 км/ч, а масса многих поездов меньше нормы. По данным Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения (ВЭЛНИИ), средняя загрузка электровоза равна 30–40%. При этом существенно снижается КПД.

- Потери при торможении поезда. Они могут составлять 15–20%. Рекуперация тока обеспечивает возврат энергии по сети порядка 3–5%.

- Потребление реактивной мощности электровозами переменного тока. У электровоза ВЛ80С коэффициент мощности в расчетном режиме — 0,86, но в обычных частичных нагрузках он равен 0,8. Тягу обеспечивает только активная составляющая мощность.

- Потери на вспомогательных машинах. Обычно на них приходится 2–3% потребляемой энергии, но в частичных режимах и на стоянках, когда они работают, потери могут достигать 6–8%.

- Потери при буксовании колес, которые достигают 5% [1, 2].

- Пусковые потери. Обычно у электровозов постоянного тока они составляют 2%, но из-за нештатных ограничений движения доходят до 5%.

● Снижение скорости движения, идущее вразрез с графиком, внеплановые ограничения, всегда приводящие к увеличению потерь энергии.

Отметим, что вопрос о радикальном влиянии условий эксплуатации вождения поездов на расход электроэнергии рассмотрен в [3].

Таким образом, можно утверждать, что основные ресурсы экономии электроэнергии на тягу поездов сосредоточены в сфере эксплуатации.

**Основной ресурс экономии**

Ключевой энергетический показатель электрической тяги — удельный расход электроэнергии в кВт·ч/10<sup>4</sup> т·км (рис. 1). Согласно Энергетической стратегии ОАО «РЖД» на период до 2010 г. и на перспективу до 2030 г., за 2010–2030 гг. удельный расход снизится с 112 до 106 кВт·ч/10<sup>4</sup> т·км, т. е. на 6 %. Поделив этот показатель на 20 лет, получим снижение в среднем всего на 0,3 % в год.

Между тем именно с электрической тягой грузовых электровозов связан наибольший расход электрической энергии на железных дорогах, поэтому другие, не имеющие отношения к электрической тяге виды экономии электроэнергии малозначимы. При разработке документа не было уделено достаточно внимания влиянию условий эксплуатации на возможный перерасход электроэнергии, тогда как именно здесь следует искать основной ресурс ее экономии.

Серьезный недостаток стратегии — ошибочный методический подход к ее реализации.

Как следует из анализа вышеприведенных факторов перерасхода электроэнергии, за счет организационных мер в сфере эксплуатации мы имеем возможность обеспечить экономию электроэнергии на 8–9 % уже через год, а через 2–3 года за счет совершенствования схем электровозов (применение противобуксовочных средств, компенсация реактивной мощности и др.) можно довести этот показатель до 10–15 %.

**Наращивать скорость, снижать массу**

В решении проблемы экономии электроэнергии на тягу поездов важно выбрать перспективную концепцию варьирования массой и скоростью движения поезда. Грузооборот определяется произведением этих параметров; в [4] показано, что для заданного грузооборота приоритетнее наращивать скорость движения при снижении массы поезда в той же кратности.

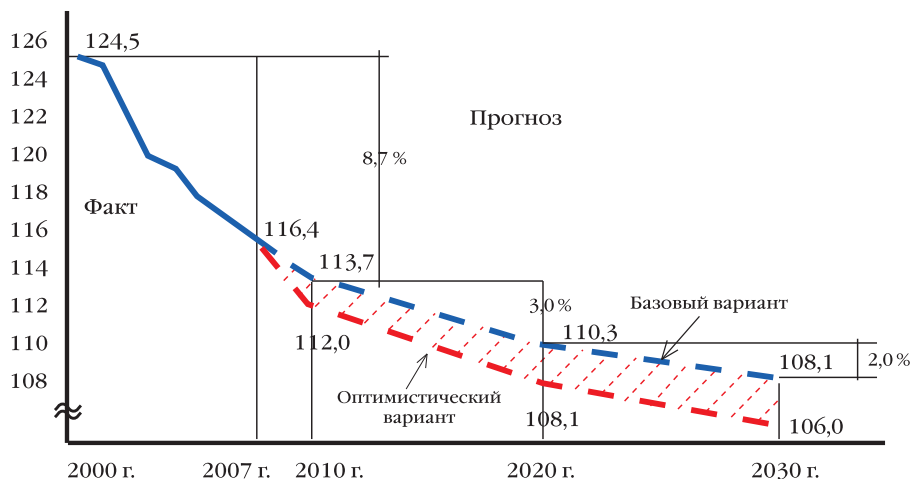


Рис. 1. Динамика изменения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов (кВт·ч/10<sup>4</sup> т·км брутто)

Физика процесса здесь определяется следующим соотношением:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{m_{n1}(w_{o1} + i_p)}{m_{n2}(w_{o2} + i_p)}$$

где  $\Delta$  — расход электроэнергии;  
 $m_n$  — масса поезда;  
 $w_{o}$  — удельное сопротивление движению;  
 $i_p$  — величина подъема;  
 индекс 1 соответствует скорости 40 км/ч и массе поезда 3600 т, индекс 2 — скорости 48 км/ч и массе поезда 3000 т.

Из соотношения следует, что расход электроэнергии пропорционален массе поезда и мало зависит от величины удельного сопротивления поезда, изменяющегося в небольших пределах. Наращивание скорости движения с уменьшением веса поезда

обеспечивает экономию электроэнергии 10 % [4].

**Организация ремонтов**

Экономия электроэнергии на тягу грузовых поездов — один из факторов эффективности использования электровозов. В связи с этим уместно рассмотреть еще один аспект вопроса.

Суточная производительность электровоза

$$P_3 = m_n \times V_y \times t_c \text{ (т·км)} = 4000 \times 40 \times 10 = 1600 \times 10^3 \text{ (т·км)}$$

Масса поезда  $m_n = 4000$  т, участковая скорость  $V_y = 40$  км/ч, производительность электровоза —  $P_3 = 1600 \times 10^3$  приняты как среднесетевые. Тогда суточное время работы электровоза под составом в движении будет  $t_c = 10$  ч.



Рис. 2. Повышение надежности локомотива за счет усиления заводского ремонта в счет будущей экономии расходов в эксплуатации



Следовательно, на 14 ч в сутки электровоз изымается из активной работы на все виды ремонта, перегоны с холостой нагрузкой, простои на сортировочных станциях и т. д. Это непозволительно много.

Допустимо принять для простоев 10 ч, а на работу с составом в тяге — 14 ч. Тогда на ту же физическую работу — грузооборот — появится возможность сократить парк электровозов в кратности  $14 / 10 = 1,4$  раза или нарастить грузооборот в 1,4 раза при заданном парке электровозов.

Время работы электровоза в сутки увеличится, но это не повлечет его перегруженности (масса и скорость останутся те же), поскольку не будет превышена расчетная длительная мощность. Производительность электровоза возрастет за счет увеличения суточного пробега — маршрутной скорости. Эффективность этого показателя доказана в [5].

Новая перспективная идея организации ремонтов электровозов представлена в [6] (рис. 2). Сейчас затраты времени на ремонты в депо (техническое обслуживание и технический ремонт) составляют 63 % от всего бюджета времени. Предлагается радикально изменить структуру ремонтных циклов:

тратить на них только 40 % времени, а 60 % употребить на ремонт в заводских условиях — более качественный и в сжатые сроки. Это обеспечит продуктивную работу электровоза в течение 14 ч в сутки — соответственно, позволит в 1,4 раза увеличить грузооборот при сохранении заданного парка электровозов. При этом бюджете времени достижима некоторая экономия электроэнергии.

Подведем итоги. Во-первых, введенное понятие «эксплуатационный КПД электровоза» позволяет численно обозначить факторы, приводящие к перерасходу электроэнергии на тягу поездов. Как показывают расчеты, увеличение экономии электроэнергии на 15 % через 2–3 года вполне реально.

Во-вторых, работу по определению эксплуатационного КПД целесообразно продолжить инженерам дорог, поскольку они шире представляют условия эксплуатации перевозок. При этом можно использовать разъяснения физической сущности базовых параметров, приведенные выше.

В-третьих, диспетчерский аппарат, службы эксплуатации, путей, энергонабжения могут существенно повлиять на расход электроэнергии, сокращая

непроизводительные простои движения грузовых поездов.

Наконец, в-четвертых, радикально улучшить использование наличного эксплуатационного парка электровозов можно в том случае, если будет увеличен грузооборот и изменено существующее соотношение времени пребывания электровозов в движении и времени, уходящего на их ремонт и другие виды отстоя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мугинштейн Л. А., Лисицин А. Л. *Нестационарные режимы тяги. Сцепление. Критическая норма массы поезда: моногр.* М.: Интекст, 1996.
2. Лисицин А. Л., Мугинштейн Л. А. *Нестационарные режимы тяги: тяговое обеспечение перевозочного процесса.* М.: Интекст, 1996.
3. Гапанович В. А. *Повышение энергетической эффективности // Железнодорожный транспорт.* 2012. № 2.
4. Курбасов А. С. *Увеличение скоростей на железных дорогах России: возможности и преимущества // Транспорт РФ.* 2011. № 6.
5. Гапанович В. А. *Смена технологии — объективная необходимость // РЖД-Партнер.* 2011. № 12.
6. Воротилкин А. В. *Повышение эффективности локомотивного и вагонного хозяйств // Железнодорожный транспорт.* 2011. № 2.