



Расчет потерь энергии при ограничении скорости



Сергей БОРИСЕНКОВ

Sergey S. BORISENKOV

Система нормирования и учета энергозатрат оказывает существенное влияние на энергосбережение в тяге поездов, но эту систему необходимо дополнить методикой расчета и статистической оценки потерь энергии и времени из-за ограничений скорости.

Ключевые слова: пассажирский поезд, скоростное движение, ограничения скорости, потери времени и энергии, безопасность, энергосбережение.

Борисенков Сергей Сергеевич – аспирант Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года предусматривает поступательное развитие скоростного движения пассажирских поездов на основных магистралях России. Например, в январе 2011 года объявлено, что к предстоящему чемпионату мира по футболу в 2018 году будут соединены реконструированными и модернизированными скоростными магистралями 16 самых крупных городов России, принимающих у себя этот чемпионат. Кроме того, обещано построить более 2 тысяч километров новых железных дорог, рассчитанных на максимальную скорость движения пассажирских поездов до 200 км/ч.

Для скоростных поездов могут быть использованы как новые мотор-вагонные электропоезда «Сапсан», так и традиционный подвижной состав ОАО «РЖД» – восьмиосные электровозы серии ЧС и прицепные вагоны, позволяющие формировать пассажирские поезда дальнего следования с ходовой скоростью до 160 км/ч. Указанные технические решения требуют постановки ряда задач по обеспечению безопасности движения, снижению износа пути и подвижного состава, улучшению дина-

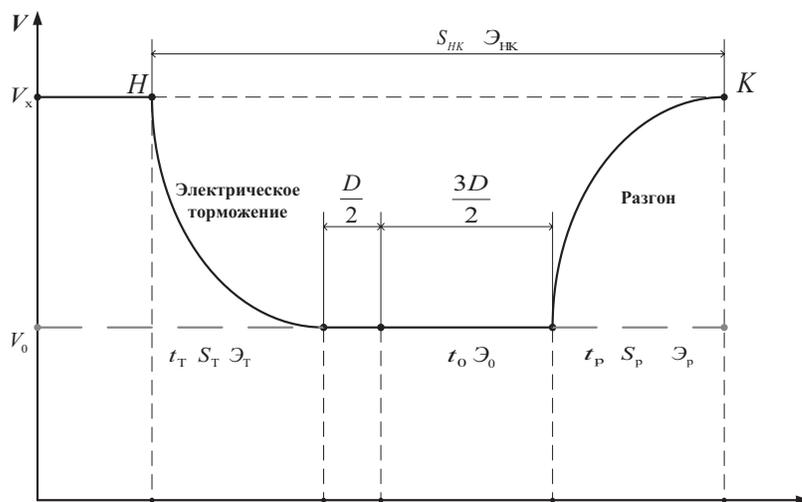


Рис. 1. Диаграмма прохода скоростным поездом ограничения скорости $V_0(S_0)$.

мики их взаимодействия, в том числе по энергосбережению.

Расход энергии на тягу поездов является одной из самых важных составляющих себестоимости в эксплуатации скоростных поездов. Поэтому в предлагаемой статье рассмотрен аспект этой проблемы, имеющий особое значение для модернизируемых линий, где вынужденно сохраняется значительное число ограничений скорости, переездов, негабаритных мест, общедоступных и служебных переходов людей через пути и так далее.

Существенным фактором, отрицательно влияющим на расход энергии в тяге поездов, остаются ограничения скорости (постоянные и временные). Особенно значительно их неблагоприятное влияние в скоростном пассажирском движении, обычно реализуемом на электрической тяге. При нормировании энергозатрат на поездку электровоза с поездом в пределах тягового плеча или поездного участка, т. е. при расчете технологической нормы энергозатрат, учитывают достаточно много факторов [1]. Но отсутствует приемлемая для практики методика учета потерь времени и энергии из-за неблагоприятного влияния объективно существующих ограничений технической скорости.

Поскольку действующая в ОАО «РЖД» система нормирования и учета энергозатрат [2] призвана быть серьезным рычагом влияния на энергосбережение в тяге поездов и соответственно на железнодорож-

ном транспорте в целом, то эту систему необходимо дополнить методикой расчета и статистической оценки потерь энергии из-за ограничений скорости. Это особенно нужно для скоростных поездов, реализующих на Московской железной дороге максимальные ходовые скорости 140-160 км/ч.

Искомый результат может быть в каждом отдельном случае получен классическим методом тягового расчета [3], но для практики нормирования важно представить потери времени ΔT и энергии ΔV в виде универсальных номограмм, допускающих варьирование возможно большего числа исходных параметров, связанных с движением поезда в зоне ограничения скорости.

Обобщенная диаграмма $V(S)$ скорости в функции пути присутствует на рис. 1. Если бы ограничение V_0 в точке S_0 отсутствовало, то поезд двигался бы в этой зоне с постоянной ходовой скоростью V_x , как показано штриховой линией HK . Но при наличии точечного ограничения $V_0(S_0)$ необходимо заблаговременно в точке H начать торможение поезда, чтобы с запасом $D/2$, равным половине длины поезда D , т. е. в точке S_0 , поезд уже имел фактическую скорость V_0 .

Указанный запас должен исключить возможность прохода любой частью поезда точки ограничения S_0 со скоростью, превышающей V_0 . На основе анализа скоростемерных лент на тяговом плече Москва – Вязьма (электровозы ЧС7, состав-





Таблица 1

Категория поезда	Скорость, км/ч		Количество плановых остановок	Количество ограничений скорости	Потери электроэнергии, %
	Техническая	Участковая			
Высокоскоростной	107	107	0	11	9
Скорый	68	72	1	7	8
Пассажирский	65	70	3	7	6,5

ность поезда $M=7-22$ вагонов), а также с учетом экспертных оценок машинистов классов 1-2, которые водят скоростные поезда с электровозами ЧС7, можно сделать вывод, что рассматриваемый запас должен быть равен половине длины поезда D , причем длина его:

$$D = l_a + M l_g, \quad (1)$$

где l_a, l_g – длина по осям автосцепок соответственно локомотива и каждого вагона.

При проходе ограничения $V_0(S_0)$ эта скорость должна поддерживаться, пока весь поезд не пройдет точку S_0 . Кроме того, обычно принимают запас $D/2$. Та-

ким образом, точечное ограничение превращается в протяженное, начало которого находится в точке $S'_0 = S_0 - \frac{D}{2}$, а конец в точке:

$$S''_0 = S_0 + \frac{3D}{2} = S'_0 + 2D. \quad (2)$$

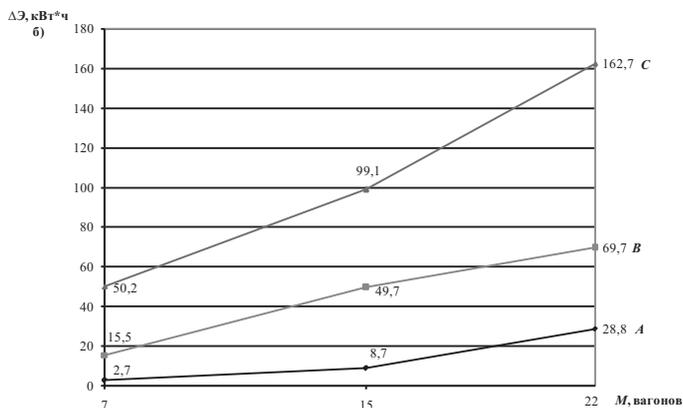
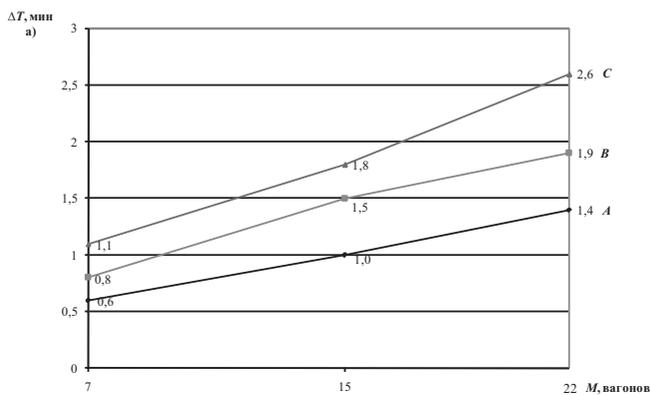
Потери времени из-за ограничения $V_0(S_0)$ вычисляются по формуле:

$$\Delta T = (t_T + t_0 + t_p) - S_{HK} / V_x, \quad (3)$$

где t_T – время торможения поезда от скорости V_x до V_0 на интервале $S_H \div S_0$;

t_0 – время прохода ограничения скорости ($t_0 = 2D / V_x$) на интервале $S_0 \div S_0$;

Рис. 2. Потери времени ΔT (а) и энергии ΔY (б) при проходе поездом точечного ограничения $V_0 = 60$ км/ч в функции числа вагонов M в составе поезда для вариантов ходовой скорости $A=120$ км/ч, $B=140$ км/ч, $C=160$ км/ч.



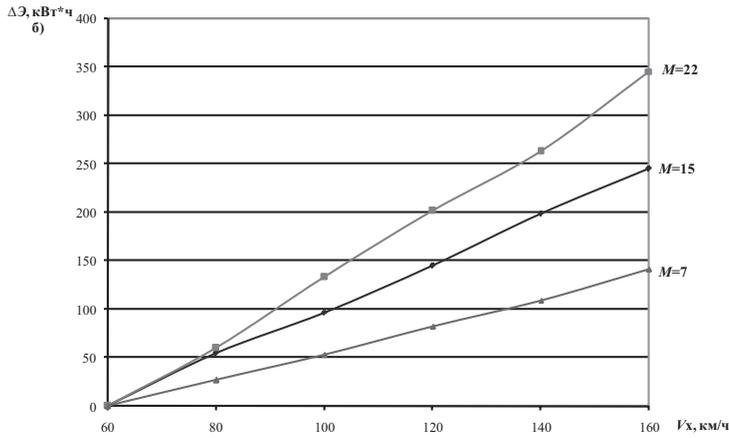
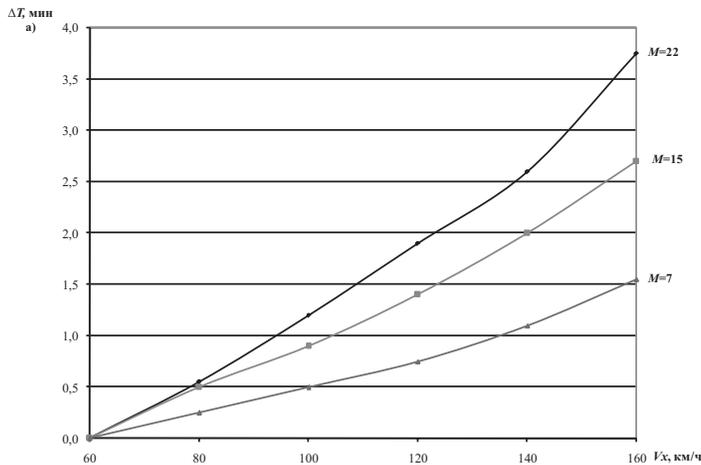


Рис. 3. Потери времени ΔY (а) и энергии $\Delta Э$ (б) при проходе поездом точечного ограничения скорости $V_0 = 60$ км/ч в функции ходовой скорости на подходе к ограничению.



t_p – время разгона поезда от скорости V_0 до V_x на интервале $S_0 \div S_K$;

S_{HK} – расстояние между точками H и K .

Величины t_T и t_p определяют путем тягового расчета кривых замедления и разгона поезда. Замедление для скоростных поездов желательно реализовать при помощи электрического тормоза в максимально интенсивном режиме. Основной парк электровозов ЧС имеет для этих целей электродинамический тормоз с плавным автоматическим регулированием, независимый от контактной сети [4].

Аналогичным образом потери энергии определяют по формуле:

$$\Delta Э = (\mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_p) - \mathcal{E}_{HK}, \quad (4)$$

где \mathcal{E}_0 – энергозатраты при проезде ограничения скорости V_0 (расстояние $2D$);

\mathcal{E}_p – энергозатраты при разгоне поезда после проезде ограничения от скорости V_0 до V_x ;

\mathcal{E}_{HK} – энергозатраты на участке НК при проезде его со скоростью V_x , то есть при отсутствии ограничения скорости $V_0(S_0)$.

На базе известных методов оптимизации [5] нетрудно показать, что при заданных значениях V_x и V_0 потери ΔT и $\Delta Э$ будут минимальны при условии, если торможение реализовать с максимально возможным замедлением, а разгон – в наиболее интенсивном режиме, т.е. с максимально возможным ускорением.

В качестве примера рассмотренной методики выполнен расчет потерь времени ΔT (рис. 2 а) и энергии $\Delta Э$ (рис. 2 б) для электровоза ЧС7 [6] при движении на прямом горизонтальном участке пути с наиболее типичным ограничением скорости $V_0 = 60$ км/ч. Приняты вариации ходовой скорости $V_x = 120, 140, 160$ км/ч и составности пассажирского поезда $M = 7, 15, 22$ вагона. Для удобства практического ис-





пользования полученных результатов при нормировании энергозатрат на поездку графики рис. 2 целесообразно построить в функции V_x (рис. 3).

Задержка ΔT поезда, вызванная ограничением скорости $V_0(S_0)$, должна быть скомпенсирована повышением его скорости на других участках, что в практике поездной работы обозначается термином «нагон». Нагон обычно позволяет скомпенсировать потерю времени ΔT , но при этом к потерям энергии из-за ограничения $V_0(S_0)$ добавляются потери на нагон $\Delta \mathcal{E}_n$, так что суммарные потери нужно оценить по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_\Sigma = \Delta \mathcal{E} + \Delta \mathcal{E}_n. \quad (5)$$

Потери на нагон являются сложной функцией ΔT и V_x . Их величина определяется тем, что нужно повысить ходовую скорость поезда на величину $\Delta V_x > 0$. При этом возрастает основное сопротивление движению поезда и соответственно необходимо учитывать $\Delta \mathcal{E}_n > 0$. Предварительные расчеты и экспертные оценки показывают, что $\Delta \mathcal{E}_n \cong \Delta \mathcal{E}$, т. е. суммарные потери в формуле [4] должны быть удвоены по сравнению с непосредственными потерями $\Delta \mathcal{E}$ от ограничения $V_0(S_0)$.

Стратегия модернизации железнодорожного транспорта в наиболее развитых странах мира характеризуется устойчивой тенденцией к повышению скорости. Особенно четко это проявляется в пассажирском сообщении. В качестве примера в таблице 1 приведены данные по одному из скоростных направлений Московской железной дороги (Мо-

сква – Вязьма) для всех категорий пассажирских поездов; по каждой категории указаны потери электроэнергии из-за ограничений скорости.

Техническая политика руководства железных дорог России при развитии скоростного движения в перспективе должна быть направлена на следующие кардинальные задачи:

- рост маршрутной скорости движения пассажирских поездов, что должно способствовать повышению конкурентоспособности ОАО «РЖД» по отношению к авиации и междугородным автобусным маршрутам;
- снижение себестоимости перевозочного процесса в дальнем пассажирском сообщении и соответственно снижение или, по крайней мере, стабилизация тарифов и стоимости билетов;
- постепенная ликвидация ограничений скорости при учете: а) действующего ущерба (рассмотренные выше потери энергии и времени хода поезда); б) коммерческой выгоды от потенциального сокращения времени нахождения пассажира в пути, т. е. от момента отправления поезда до момента его прибытия на станцию назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Явриянц К. В. Возможность снижения топливно-энергетических затрат на тягу поездов // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 2.
2. Инструкция ЦТД-26, ОАО «РЖД», 2005.
3. Осипов С. Н., Осипов С. С., Феоктистов В. П. Теория электрической тяги. – М., 2006.
4. Правила тяговых расчетов. – М., 1985.
5. Ерофеев Е. В. Принципы построения систем автоведения поездов метрополитена и пассажирских поездов при электрической тяге / Дис... док. техн. наук. – М., 1985.
6. Иньков Ю. М., Жуликов В. Н., Козлов Л. Г. Электроподвижной состав с электрическим торможением. – М., 2008. ●

COMPUTATION OF POWER LOSSES DUE TO SPEED RESTRICTIONS

Borisenkov, Sergey S. – Ph. D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The system of rate setting and accounting of electric power consumption is of great importance for power saving in electric train traction. But the author argues that this system should be supplemented with method of calculation and statistic estimation of power losses caused by fixed speed limits.

Key words: passenger train, rapid traffic, speed limits, time and power losses, safety, power saving.

Координаты автора (contact information): Борисенков С. С. – Sergei_Borisenkov@mail.ru.