

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Наведено основні результати визначення раціональних параметрів номінального режиму пасажирських електровозів з асинхронним тяговим приводом для залізниць України.

Приведены основные результаты определения рациональных параметров номинального режима пассажирских электровозов с асинхронным тяговым приводом для железных дорог Украины.

The basic results of determination of rational parameters of the nominal regime of passenger electric locomotives with an asynchronous hauling drive for railways of Ukraine are presented.

В связи с необходимостью обновления электровозного парка железных дорог Украины возникает необходимость определения рационального мощностного ряда электровозов. В настоящей статье приведены результаты решения этой задачи применительно к пассажирским электровозам с асинхронным тяговым приводом.

Наиболее важными внешними параметрами электровозов являются: мощность N_n , сила тяги F_k и скорость v_n номинального режима. Задача определения именно этих параметров возникает в первую очередь при составлении технических требований на новый электроподвижной состав.

Как показано в [1], в качестве показателей рациональности выбора внешних параметров электровоза целесообразно принять минимум затрат энергоресурсов на тягу поездов A , избыточной мощности потребного локомотивного парка y_N и кратности тяги y_k , поскольку снижение численных значений этих показателей ведет к уменьшению капитальных вложений на обновление локомотивного парка и снижению эксплуатационных затрат, а следовательно обуславливает повышение конкурентоспособности железнодорожных перевозок. В этом случае задача определения рационального мощностного ряда может быть сформулирована следующим образом.

Для заданных значений:

- реализуемой технической скорости движения v_t ;
- составности поездов n ;
- маршрута движения поездов

найти такой ряд сочетаний параметров номинального режима пассажирских электровозов

$\{N_{n1}, v_{n1}, F_{kn1}\}; \{N_{n2}, v_{n2}, F_{kn2}\}; \dots; \{N_{nn}, v_{nn}, F_{knn}\}$, которые будут удовлетворять условиям:

$$\left. \begin{array}{l} A \\ y_N \\ y_k \end{array} \right\} \rightarrow \min \quad (1)$$

при выполнении условий:

$$\text{ускорение при } v_n \left. \frac{dv}{dt} \right|_{0 \leq v \leq v_n} \geq a_{пз};$$

$$i = 0\%_00$$

$$\text{ускорение при } v_k \left. \frac{dv}{dt} \right|_{v = v_k} \geq a_{оз}; \quad (2)$$

$$i = 0\%_00$$

$$\text{пусковая сила тяги } F_{кп} \leq F_{сц},$$

где $F_{сц}$ – расчетная сила сцепления электровоза; $a_{пз}$, и $a_{оз}$ – заданные значения ускорения поезда.

Как показано в [2], при выборе массы электровоза из условия полного использования возможности реализации силы тяги по сцеплению оптимальное по минимуму затрат электроэнергии на тягу поезда управление поездом и соответствующий ему расход электроэнергии на 1 т·км работы, а также приходящаяся на 1 т массы поезда мощность номинального режима не зависит от массы поезда и определяется только типом привода (коллекторный, асинхронный) и заданным временем хода по участку или величиной технической скорости. Поэтому задача (1) распадается на две самостоятельные задачи выбора:

- соответствующей удельной мощности тяги N_y , скорости номинального режима v_n из условия

$$A \rightarrow \min \quad (3)$$

при выполнении условия (2);

– мощности номинального режима из условия

$$\left. \begin{matrix} y_N \\ y_k \end{matrix} \right\} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Для решения задачи $A \rightarrow \min$ (3) использована методика, подробно изложенная в [3].

В результате, для принятого в качестве расчетного участка Днепропетровск – Киев получены зависимости оптимальных по минимуму расхода электроэнергии значений скорости номинального режима $v_{н(опт)}$ и удельной мощности тяги N_y от требуемой технической скорости движения (рис. 1 и 2). Кривые 1 соответствуют действующим ограничениям скорости, а кривые 2 – случаю, когда для всех перегонов участка установлена допустимая скорость движения 140 км/ч. Расчет выполнен для ускорений $a_{п} = 0,3 \text{ м/с}^2$ и $a_0 = 0,05 \text{ м/с}^2$. Показанная пунктиром часть зависимостей $v_{н(опт)}(v_t)$ и $N_{y(опт)}(v_t)$ не может приниматься к рассмотрению, т.к. для нее ускорение $a_0 < 0,05 \text{ м/с}^2$.

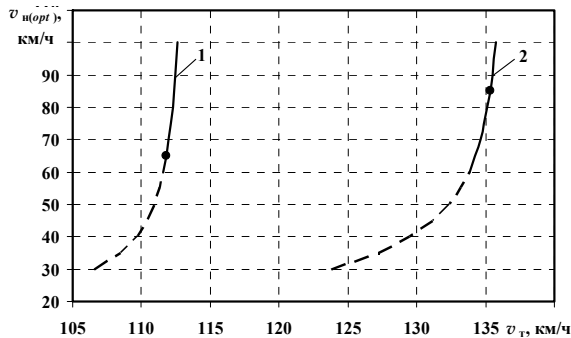


Рис. 1. Зависимость скорости номинального режима от технической скорости движения

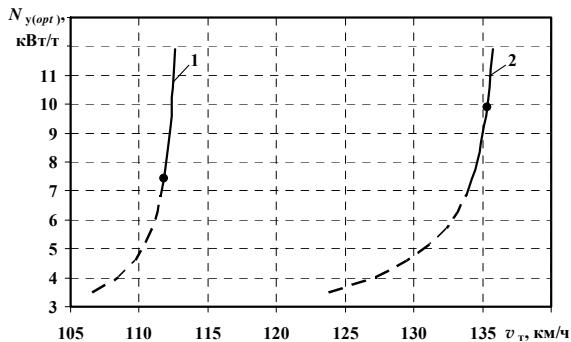


Рис. 2. Зависимость удельной мощности номинального режима от технической скорости движения

Приведенные данные расчетов позволяют сделать вывод о том, что уровень достижимой скорости движения определяется двумя основными факторами: удельной мощностью номи-

нального режима и уровнем допустимой скорости движения на участке.

Так, при существующих ограничениях максимальной скорости может быть реализована техническая скорость движения порядка 110 км/ч. Для этого удельная мощность тяги должна составлять 7,5 кВт/т, что соответствует скорости номинального режима 65...70 км/ч.

Однако, Укрзалізниця планирует повышение скоростей движения пассажирских поездов, как следует из табл. 1, до 135 км/ч.

Таблица 1

Расчетное время нахождения поездов в движении и необходимые на перспективу уровни технической скорости движения поездов v_t на основных направлениях пассажирских перевозок Укрзалізниця

Направление сообщения	Расстояние, км	Время пребывания поезда в движении, час:мин.	v_t , км/ч	Род тока
Киев–Полтава	336	2:30	134.4	переменный
Полтава–Харьков	155	1:10	132.9	тепловоз
Киев–Харьков	491	3:40	133.9	-
Киев–Днепропетровск (через Полтаву)	531	4:00	132.8	перем/пост
Киев–Луганск (через Полтаву)	804	7:05	113.5	перем/пост
Днепропетровск–Симферополь	485	3:40	132.3	постоянный
Киев–Одесса	652	5:00	130.4	переменный

Как следует из графиков рис. 1 и 2, планируемое повышение технической скорости движения может быть достигнуто за счет повышения допустимых скоростей движения до уровня 140...160 км/ч и ввода в эксплуатацию электропоездов, обеспечивающих при скорости номинального режима 80...85 км/ч реализацию удельной мощности тяги 10 кВт/т.

Потребная мощность номинального режима пассажирских электропоездов при заданной скорости v_n определяется массой поезда. Это следует из приведенной в [4] формулы, которую для асинхронного привода можно представить в виде

$$N_n = 2,725 [1 + k_p] [w_{оп} + 102 a_n (1 + \gamma)] v_n Q, \quad (5)$$

где N_n – мощность продолжительного режима электропоезда, Вт;

v_n – скорость номинального режима электровоза, км/ч;

k_p – коэффициент, который представляет собой долю массы локомотива от массы состава [5];

a_n – значение пускового ускорения, м/с²;

$(1+\gamma)$ – коэффициент инерции вращающихся масс;

$w_{он}$ – основное удельное сопротивление движению поезда в режиме тяги при скорости v_n .

Масса пассажирских поездов определяется их составностью. Поскольку последняя для поездов различных назначений колеблется в широких пределах, как следует из данных рис. 3, то распределение потребной мощности электровозов должно быть определено с учетом доли всех поездо-участков в формировании численности пассажирского парка Укрзализныци.

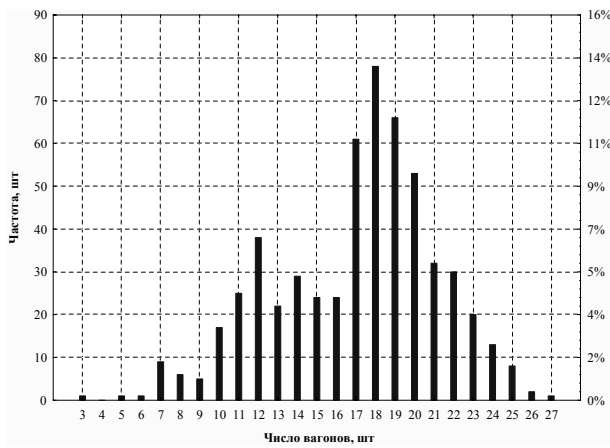


Рис. 3. Распределение составности пассажирских поездов по железным дорогам Украины

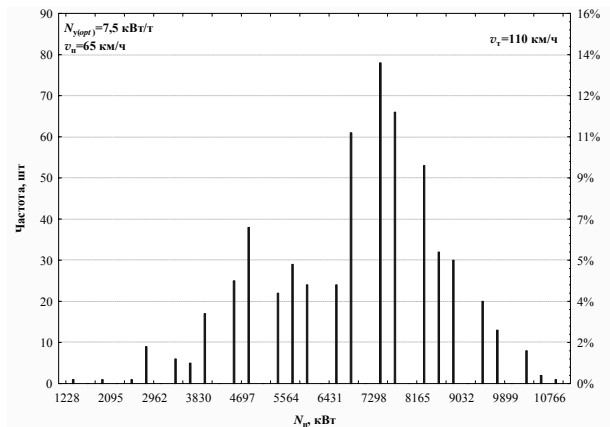


Рис. 4. Распределение потребной мощности номинального режима пассажирских электровозов для железных дорог Укрзализныци при $v_T = 110$ км/ч

В качестве первого приближения можно принять, что участки, обслуживаемые электровозами всех дорог, характеризуются одинаковыми

распределениями составности пассажирских поездов. Тогда распределение потребной мощности может быть получено с помощью формулы (5) непосредственно на основании распределения составности поездов. Для двух рассматриваемых случаев ($v_T = 110$ км/ч и $v_T = 135$ км/ч) они показаны на рис. 4 и 5.

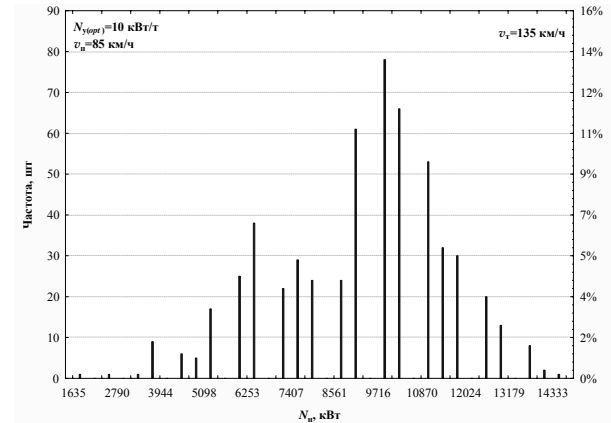


Рис. 5. Распределение потребной мощности номинального режима пассажирских электровозов для железных дорог Укрзализныци при $v_T = 135$ км/ч

На основании полученного распределения потребной мощности номинального режима решена задача (4). В результате использования предложенной в [6] методики получены несравнимые по Парето сочетания показателей оптимизации мощностного ряда (избыточная мощность y_N и средняя кратность тяги y_k) на интервале изменения потребной мощности номинального режима. При решении задачи предполагалось, что необходимые для реализации требуемой мощности тяговые сцепы формировались из однотипных тяговых модулей. Результаты расчетов приведены на рис. 6 и 7.

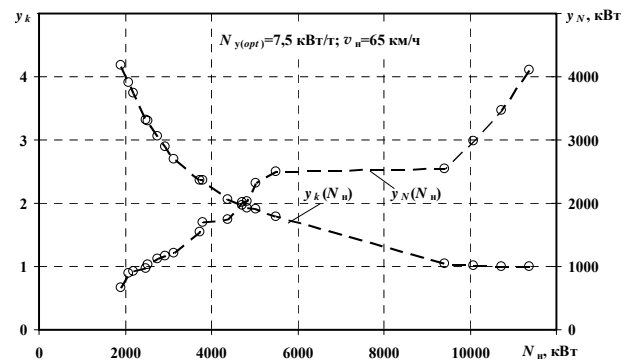


Рис. 6. Зависимость избыточной мощности y_N и кратности тяги y_k от мощности тягового модуля X (для реализации технической скорости движения 110 км/ч)

Анализ данных рис. 6 и 7 указывает на наличие мощности тягового модуля, выгодной с точки зрения снижения недоиспользованной

мощности. Так, при $v_t = 110$ км/ч можно реализовать мощность $N_n = 4800$ кВт/т, которая при кратности тяги $y_k = 1,93$, близкой к сложившейся в настоящее время в практике применения двухсекционных локомотивов, обеспечивает снижение избыточной мощности с 56 % до 28 % (вдвое). Как нетрудно установить, сопоставляя рис. 3 и 4, для вождения поездов составностью до 12 вагонов требуется один тяговый модуль, а выше 12 вагонов – два модуля.

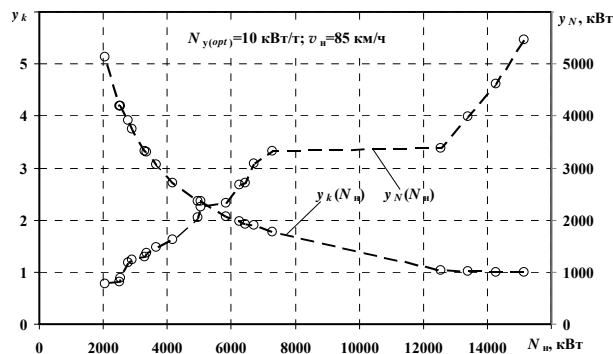


Рис. 7. Зависимость избыточной мощности y_N и кратности тяги y_k от мощности тягового модуля X (для реализации технической скорости движения 135 км/ч)

Отметим, что указанные параметры номинального режима тягового модуля полностью соответствуют параметрам электровоза ДСЗ, эксплуатация которого требует при составности выше 12 вагонов применения двойной тяги.

На перспективу необходима реализация технической скорости 135 км/ч. Для этого требуется, как следует из данных рис. 5 и 7, увеличение мощности номинального режима до 6400 кВт. Причем, парк должен включать 84 % двухсекционных и 16 % односекционных электровозов.

Такие электровозы реализуемы технически в четырехосном и восьмиосном вариантах. Их тяговые характеристики будут соответствовать приведенным на рис. 8.

В заключение следует отметить, что ввод в эксплуатацию одно- и двухсекционных электровозов обеспечивает снижение количества потребных для вождения поездов секций на 8 % при соответствующем снижении расходов на содержание подвижного состава.

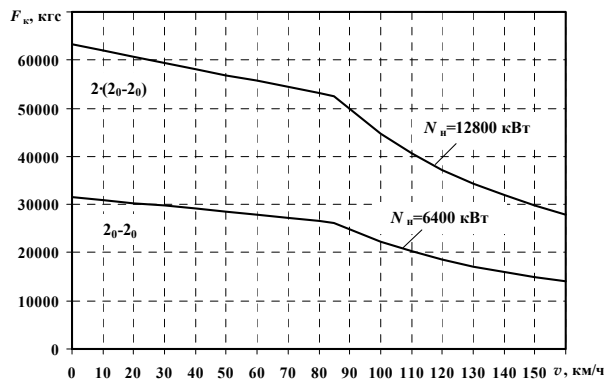


Рис. 8. Тяговые характеристики перспективных пассажирских электровозов с асинхронным тяговым приводом

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гетьман, Г. К. Определение оптимальной по минимуму расхода энергии на движение поезда мощности локомотива [Текст] / Г. К. Гетьман // Транспорт. Математичне моделювання в інженерних та економічних задачах транспорту : зб. наук. пр. / за ред. А. А. Босова та ін. – Д.: Січ, 1999. – С. 177-182.
2. Гетьман, Г. К. Выбор параметров номинального режима электровозов для грузовых перевозок [Текст] / Г. К. Гетьман // Вісник Східноукр. держ. ун-ту ім. В. Даля. – Вип. 8 (114). – Ч. 2. – Луганськ: СУДУ, 2007. – С. 31-36.
3. Гетьман, Г. К. Выбор оптимальных параметров перспективных электровозов для грузового движения [Текст] / Г. К. Гетьман // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 47-51.
4. Гетьман, Г. К. Определение рациональных параметров номинального режима тяговых средств рельсового транспорта [Текст] / Г. К. Гетьман, Ю. В. Михайленко, С. В. Арпуль // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 13-17.
5. Арпуль, С. В. Моделирование области допустимых управлений уравнения движения пассажирского поезда [Текст] / С. В. Арпуль // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2003. – Вип. 4. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2003. – С. 17-23.
6. Гетьман, Г. К. Определение оптимальной градации мощности локомотивов для осуществления грузовых перевозок на заданной железнодорожной линии [Текст] / Г. К. Гетьман // Вісник Харк. держ. політехн. ун-ту : зб. наук. пр. – Вип. 49. – Х.: ХДПУ, 1999. – С. 30-35.

Поступила в редколлегію 24.12.2008.