

С. В. АРПУЛЬ (ДНУЖТ)

Кафедра «Электроподвижной состав железных дорог», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел.: (056) 373-15-31, эл. почта: arpul@ukr.net

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Введение

Первоочередной технической проблемой освоения растущих объемов пассажирских перевозок и обеспечения конкурентоспособности железнодорожного транспорта есть его техническое переоснащение с целью значительного сокращения времени перемещения пассажиров. Успешное решение этой проблемы невозможно без ввода в эксплуатацию тягового подвижного состава, в частности электровозов, отвечающих современным требованиям, так как пассажирский электроподвижной состав железных дорог Украины, особенно переменного тока, требует обновления. По данным «Укрзалізниці» [1] средний износ парка электровозов составляет 90 %. В 2015 году из инвентарного парка пассажирских электровозов необходимо изъять около 95 % электровозов серии ЧС2 и 75 % – серии ЧС4 у которых закончился срок службы, уже продленный до 45 лет.

Чтобы избежать приобретения малоэффективного подвижного состава, необходима разработка новых подходов к определению основных параметров электровозов – скорости и мощности номинального режима.

Постановка и решение задачи определения параметров электровозов

Для выполнения указанной выше проблемы требуется решение следующих задач:

- определение рациональных значений основных внешних параметров электровоза для вождения поездов на конкретном направлении при заданной их составности и технической скорости движения;

- определение оптимальной градации мощности парка электровозов для обеспечения пассажирских перевозок на заданном полигоне тяги.

В настоящей работе будет рассмотрено решение первой задачи. В качестве критерия оптимальности при выборе основных параметров электровоза следует принять минимум расхода электроэнергии на осуществление перевозок при заданном времени движения поездов. Та-

кой подход представляется оправданным, поскольку затраты на электроэнергию составляют существенную долю эксплуатационных расходов железных дорог.

Используя единицы измерения физических величин, регламентированные правилами тяговых расчетов [2], мощность номинального режима пассажирского электровоза определим как

$$N_H = 2,725 k_N F_{кп} v_{п}, \text{ Вт} \quad (1)$$

где $F_{кп}$ – среднее значение предельной силы тяги электровоза в период пуска (пусковая сила тяги);

$v_{п}$ – скорость выхода на характеристику номинального напряжения (пусковая скорость);

k_N – коэффициент, равный отношению мощности продолжительного режима к мощности, соответствующей выходу на пусковую скорость. Как показано в [2]

$$k_N = 1 / (k_f k_v), \quad (2)$$

где k_f – отношение пусковой силы тяги к силе тяги продолжительного режима;

k_v – отношение пусковой скорости к скорости продолжительного режима.

Необходимое значение пусковой силы тяги, а значит и мощности номинального режима, следует определять так, чтобы обеспечить возможность реализации в момент выхода на пусковую скорость заданной величины ускорения $a_{п}$. Сформулированному условию соответствует сила тяги

$$F_{кп} = (P + Q) [w_{оп} + 102(1 + \gamma)a_{п}], \quad (3)$$

где P, Q – масса электровоза и состава, соответственно;

$w_{оп}$ – основное удельное сопротивление движению поезда в режиме тяги при пусковой скорости;

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

a_{Π} – значение ускорения при достижении пусковой скорости и движении поезда на площадке (на основании [4 – 7] может быть принято равным 0,3...0,4 м/с²).

В выражении (3) фигурирует масса электроваза P . Ее целесообразно определить из условия реализации требуемой величины $F_{\text{кп}}$ при заданном расчетном коэффициенте сцепления при пусковой скорости $\psi_{\text{кп}}$, т.е. из равенства

$$F_{\text{кп}} = 1000 P \psi_{\text{кп}}. \quad (4)$$

Для удобства производимых расчетов введем коэффициент

$$k_p = \frac{P}{Q}, \quad (5)$$

который, приравняв правые части (3) и (4) и учитывая, что

$$w_{\text{оп}} = \frac{P w'_{\text{оп}} + Q (w''_{\text{оп}} + w_{\text{пг}})}{P + Q},$$

получим в виде

$$k_p = \frac{w''_{\text{оп}} + w_{\text{пг}} + 102 a_{\Pi} (1 + \gamma)}{1000 \psi_{\text{кп}} - [w'_{\text{оп}} + 102 a_{\Pi} (1 + \gamma)]}, \quad (6)$$

где $w'_{\text{оп}}$, $w''_{\text{оп}}$ – основное удельное сопротивление движению при пусковой скорости, соответственно локомотива в режиме тяги и состава;

$w_{\text{пг}}$ – дополнительное удельное сопротивление движению состава от подвагонных генераторов [2].

С учетом (5) выражение (3) приведем к виду

$$F_{\text{кп}} = (1 + k_p) [w_{\text{оп}} + 102 (1 + \gamma) a_{\Pi}] Q. \quad (7)$$

Анализ выражения (6) показал, что основными параметрами, определяющими величину k_p , являются пусковая скорость v_{Π} и ускорение при пуске a_{Π} . Значение k_p не зависит от величины уклона, так как задача решается, исходя из условия реализации заданного пускового ускорения на площадке [3]. С достаточной для практических расчетов точностью зависимость $k_p(v_{\Pi}, a_{\Pi})$, определяемую выражением (6), можно аппроксимировать трехчленом вида

$$k_p = b_0 + b_1 v_{\Pi} + b_2 a_{\Pi}^2, \quad (8)$$

где v_{Π} – значение пусковой скорости, км/ч;

a_{Π} – значение пускового ускорения, м/с²;

b_0, b_1, b_2 – коэффициенты аппроксимации, значения которых приведены в табл. 1.

Согласно (1) при заданной силе тяги $F_{\text{кп}}$ мощность номинального режима является функцией пусковой скорости. Ее значение определяется исходя из принятых выше критериев оптимизации.

Анализ выражения (1) показывает, что мощность пассажирского электроваза при заданной массе поезда определяется, главным образом, величиной пусковой скорости. Следовательно, определение оптимальной мощности локомотива сводится к установлению оптимального значения пусковой скорости $v_{\Pi(\text{opt})}$.

Для решения задачи воспользуемся предложенным в [8] подходом к определению пусковой скорости пассажирских электровазов.

Решение данной задачи предполагает выполнение следующей процедуры:

– для ряда заданных значений пусковой скорости определяются предельные тяговые характеристики электроваза [3];

– для принятых значений пусковой скорости v_{Π} на основании тяговых расчетов определяется зависимость минимального расхода электроэнергии от заданной величины технической скорости [8];

– по $a_{\text{min}}(v_{\text{T}}, v_{\Pi})$ определяется зависимость оптимальной пусковой скорости $v_{\Pi(\text{opt})}$ соответствующей минимуму расхода электроэнергии на тягу и соответственно мощности номинального режима от технической скорости.

Установленные зависимости $v_{\Pi(\text{opt})}(v_{\text{T}})$ и $N_{\text{н}(\text{opt})}(v_{\text{T}})$ характеризуют конкретный участок железнодорожной линии и не зависят от составности поезда. Докажем это утверждение.

Уравнение движения поезда представим в виде [3]

$$v \frac{dv}{ds} = \xi (f_{\text{к}}(v) - b_{\text{к}}(v) - w_{\text{о}}(v) - i(s)), \quad (9)$$

где ξ – размерный коэффициент, значение которого зависит от принятых единиц измерения физических величин;

$w_{\text{о}}$ – удельное основное сопротивление движению поезда;

$f_{\text{к}}$ – удельная сила тяги электроваза;

$b_{\text{к}}$ – удельная тормозная сила поезда;

$i(s)$ – продольный профиль железнодорожной линии.

Область определения управляющих параметров $b_k(v)$, $f_k(v)$ и $w_0(v)$ можно установить следующим образом.

Тормозная сила поезда может принимать следующие значения

$$0 \leq b_k \leq \bar{b}_k, \quad (10)$$

где \bar{b}_k – предельное значение тормозной силы [2]

$$\bar{b}_k = 1000 \vartheta_p \varphi_{кр}, \quad (11)$$

где ϑ_p – расчетный тормозной коэффициент, определяемый действующими тормозными нормативами;

$\varphi_{кр}$ – расчетный коэффициент трения тормозных колодок.

Сила тяги электровоза удовлетворяет условию

$$0 \leq f_k(v) \leq \bar{f}_k(v), \quad (12)$$

где $\bar{f}_k(v)$ – представляет собой предельную тяговую характеристику электровоза в

удельных единицах. Как показано в [3], $\bar{f}_k(v)$ можно определить с помощью выражений приведенных в табл. 2 для определения координат предельной тяговой характеристики электровозов с коллекторными ТЭД и с асинхронными ТЭД, имеющим три зоны регулирования скорости:

– зона пуска – $0 \leq v \leq v_{\Pi}$;

– зона поддержания постоянной мощности – $v_{\Pi} \leq v \leq v_{\alpha}$;

– зона «серийной» характеристики – $v_{\alpha} \leq v \leq v_k$.

Отметим, что в ЭПС с асинхронными ТЭД может использоваться и две зоны регулирования, например электровозы ДСЗ и ЭП10.

Приведенные в табл. 2 выражения подтверждают высказанное выше утверждение о независимости оптимального значения пусковой скорости от массы поезда, поскольку не содержат в качестве переменных массу состава и локомотива.

Таблица 1

Значения коэффициентов в выражении (8)

Тип ЭПС	b_0	b_1	b_2	Объясняемый разброс
Постоянного тока	-0,061	0,0022	1,0146	98,2
Переменного тока	-0,044	0,0019	0,8171	98,1
С асинхронными ТЭД	0,009	0,0011	0,5704	98,7

Таблица 2

Координаты предельной тяговой характеристики

Интервал скоростей	Тип ЭПС	
	с асинхронными ТЭД	с коллекторными ТЭД
$0 \leq v_{\Pi}$	$\bar{f}_{кп} = w_{оп} + i + 102 a_{\Pi} (1 + \gamma)$	
$v_{\Pi} \leq v_{\alpha}$	$\bar{f}_k(v) = \bar{f}_{кп} \frac{v_{\Pi}}{v}$	
$v_{\alpha} \leq v_k$	$\bar{f}_k(v) = \bar{f}_{кп} \frac{v_{\Pi}^2}{v^2}$	$\bar{f}_k(v) = F_k^* \left(k_v \frac{v}{v_{\Pi}} \right) \frac{\bar{f}_{кп}}{k_f \beta_{\min}}$

В данной работе рассмотренная задача решена применительно к электровозам с асинхронным тяговым приводом, учитывая его перспективность.

Для выработки рекомендаций по выбору удельной мощности и скорости номинального режима перспективных пассажирских электровозов для железных дорог Украины были выполнены соответствующие расчеты для участков, электрифицированных на переменном (Юго-Западная, Одесская, Львовская ж.д.) и

постоянном (Приднепровская, Южная, Донецкая ж.д.) токе.

Расчеты выполнены для реального продольного профиля участка при следующих исходных данных:

– ускорение поезда на площадке в период разгона – не ниже $0,3 \text{ м/с}^2$;

– остаточное ускорение поезда на площадке при достижении конструкционной скорости – $0,05 \text{ м/с}^2$;

- реализуемая на наитруднейшем подъеме скорость движения поезда – не ниже пусковой;
- конструкционная скорость электровоза – 160 км/ч;
- ограничения максимальной скорости движения на участке – 160 км/ч.

Остановимся подробнее на анализе полученных результатов.

Следует отметить, что каждый участок характеризует «своя» зависимость $v_{п(опт)}(v_{т})$, поскольку характер этих зависимостей определяется спецификой конкретного участка (характеристики продольного профиля, установленные ограничения скорости, расстояния между отдельными пунктами и т.д.). Таким образом, одному и тому же значению технической скорости на различных участках соответствуют отличающиеся значения $v_{п(опт)}$. Сказанное наглядно иллюстрируется графиками рис. 1.

Вместе с тем на полигоне тяги, обслуживаемом тяговыми средствами одного или нескольких локомотивных депо, экономически невыгодно вводить в эксплуатацию разнотипные электровозы. Поэтому для железных дорог Украины следует выбрать пусковую скорость для полигона тяги на постоянном и переменном токе из условия возможности реализации заданной технической скорости на каждом участке полигона, т.е. как

$$v_{п(опт)} = \max \left\{ v_{п(опт) i} (v_{т})_i \mid v_{т i} = v_{т 3} \right\}, \quad (13)$$

$$i = \overline{1, k},$$

где $v_{т 3}$ – заданная величина технической скорости;

k – количество участков обращения полигона тяги.

Выражение (13) представляет правило выбора лимитирующего участка на полигоне тяги, т.е. такого перегона на котором при одинаковых ограничениях скорости движения заданный уровень технической скорости реализуется при наибольшей удельной мощности электровоза, а приведенные на рис. 1 зависимости следует рассматривать как рекомендации при выборе номинальной мощности перспективных электровозов.

На основании предложенной в [3, 8] методики разработаны рекомендации по выбору параметров номинального режима перспективных пассажирских электровозов с асинхронными тяговыми двигателями для железных дорог Украины.

Для расчетов, в качестве базового варианта, принят участок Днепропетровск – Киев. Выполнено три варианта расчетов при различном сочетании ограничений максимальной скорости движения, представленных в табл. 3.

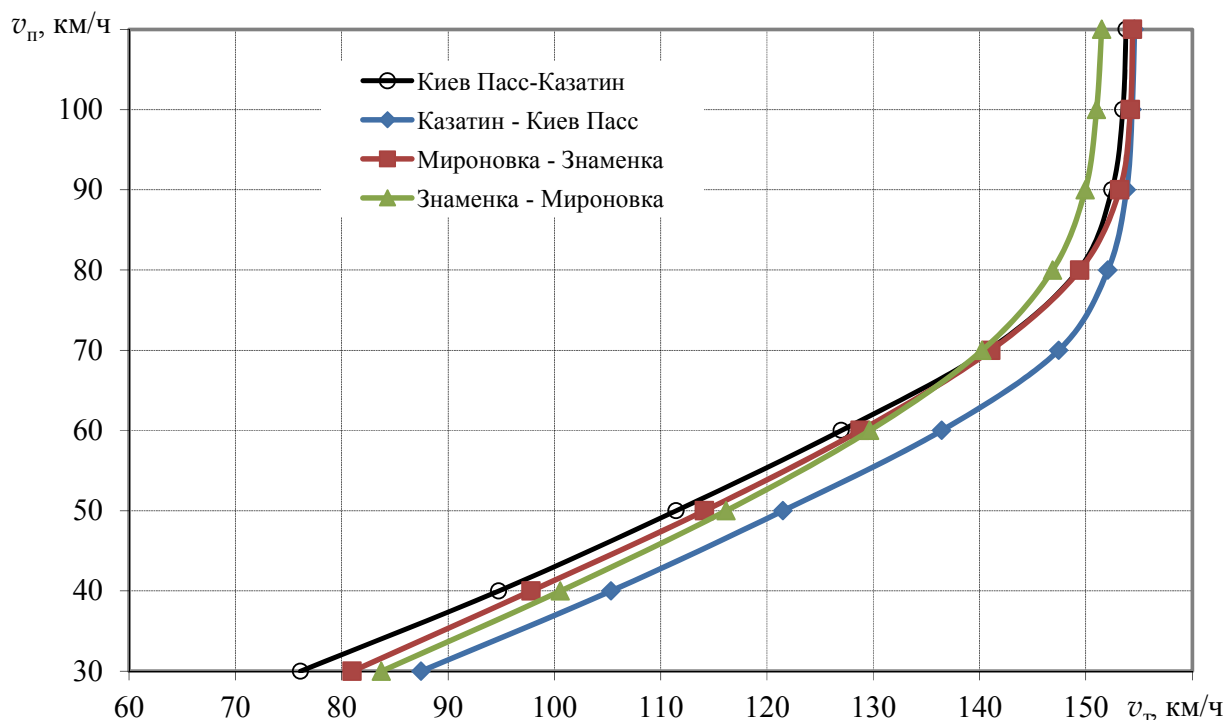


Рис. 1. Зависимость оптимальной пусковой скорости от технической скорости на участках Юго-Западной железной дороги

Варианты распределения по удельному весу ограничений скорости на участке Днепропетровск – Киев

Ограничение скорости, км/ч	Относительная длина ограничения скорости, %		
	вариант распределения ограничений		
	1	2	3
100	40	40	–
110	10	10	–
120	10	–	40
130	10	–	10
140	30	50	10
150	–	–	10
160	–	–	30

Результаты расчетов пусковой скорости и удельной мощности электровозов с асинхронным тяговым приводом для различных ограничений скорости представлены на рис. 2 и 3 кривыми 1 – 3.

Горизонтальные линии на указанных рисунках соответствуют минимальным значениям пусковой скорости и удельной мощности тяги, при которых возможна реализация конструкционной скорости электровоза при движении на горизонтальном участке пути, т.е. значения, ниже которых не обеспечивается реализация заданной величины остаточного ускорения.

Из приведенных на рис. 2 зависимостей $v_{п(опт)}(v_T)$ также видно, что при первом варианте ограничений может быть реализована техническая скорость немногим больше 110 км/ч. При этом, для организации движения нужен электровоз, номинальный режим которого определяют скорость 60 км/ч и удельная мощность 6,9 кВт/т (точка на кривой первого варианта), что соответствует минимально возможным значениям по величине остаточного ускорения, а наращивание удельной мощности не

обеспечивает повышения технической скорости движения.

Повышение технической скорости движения пассажирских поездов сверх 110 км/ч возможно только при увеличении максимально допустимой скорости движения на участке.

В качестве возможных рассмотрены два варианта, показанные в табл. 3:

- вариант 2 – повышение максимальной скорости движения до 140 км/ч на участках, где скорость движения ограничена величиной 120 и 130 км/ч. В этом случае относительная длина участков с допускаемой скоростью 140 км/ч возрастает до 50 % общей протяженности;

- вариант 3 – повышение максимальных скоростей движения на всех элементах профиля на 20 км/ч. В этом случае максимальная скорость движения на 30 % протяженности участка достигнет отметки 160 км/ч.

Расчеты показали, что второй вариант не дает существенного увеличения технической скорости, а в третьем варианте достигается увеличение технической скорости до значения 130 км/ч при увеличении необходимой мощности электровоза (точка на кривой третьего варианта).

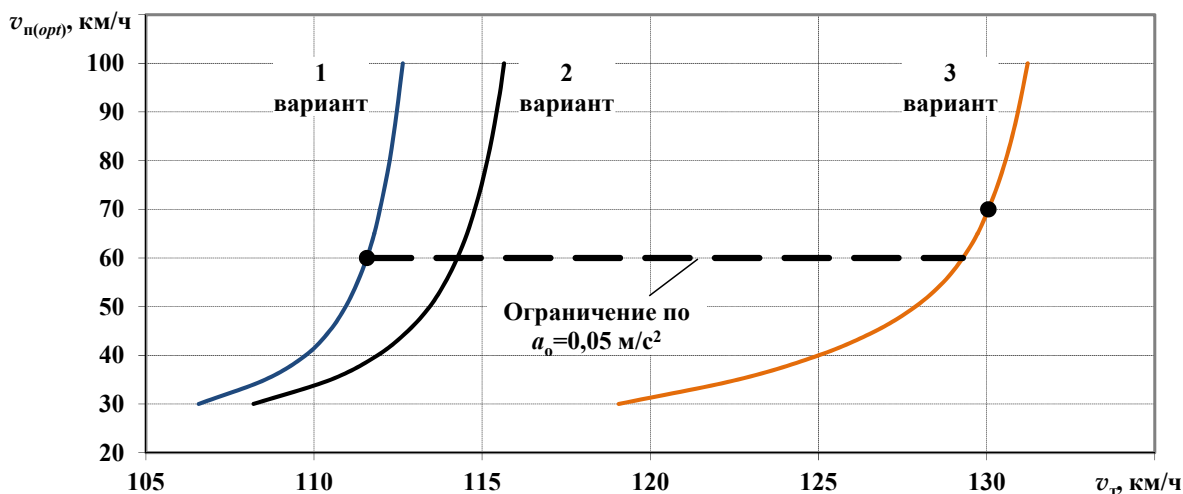


Рис. 2. Оптимальная пусковая скорость пассажирского электровоза с асинхронным тяговым приводом

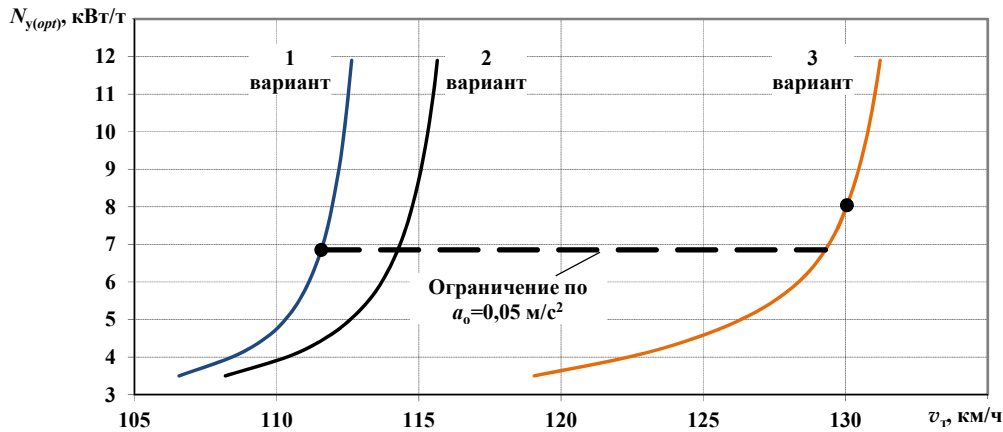


Рис. 3. Оптимальная удельная мощность номинального режима пассажирского электровоза с асинхронным тяговым приводом

Выводы

На основании выполненных исследований показано, что для каждой железнодорожной линии существует зависимость оптимальных значений пусковой скорости от величины потребной технической скорости движения, которая может

быть использована для определения оптимальной скорости номинального режима электровоза.

Анализ результатов выполненных тяговых расчетов позволил установить, что пусковая скорость перспективных пассажирских электровозов с асинхронными ТЭД может быть принята равной 70 км/ч, а удельная мощность тяги 8,0 кВт/т.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сергиенко Н. И. Решение проблем подвижного состава железных дорог Украины через взаимодействие государственного и частного секторов экономики / Н. И. Сергиенко // Локомотив-информ. – 2010. – №6. – С. 40-46.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
3. Арпуль С. В. Определение силы тяги пассажирского электровоза при решении задач тягового обеспечения / С. В. Арпуль // Электрификация транспорта, № 5. – 2013. – С. 8-11.
4. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах). Под ред. Колодяжного Н. В. – М.: Транспорт, 1976. – 416 с.
5. Бещева Н. И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях / Н. И. Бещева. – М.: Транспорт, 1965. – 224 с.
6. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам / Под ред. А. И. Тищенко. Т.1. – М.: Транспорт, 1976. – 432 с.
7. Исследование высокоскоростного электропоезда ЭР200 / Под ред. В. Г. Иноземцева. Сб. науч. тр. – М.: Транспорт, 1985. – 83 с.
8. Арпуль С. В. Определение скорости движения и удельной мощности номинального режима пассажирских электровозов / С. В. Арпуль // Электрификация транспорта, № 7. – 2014. – С. 107-113.

REFERENCES

1. Sergienko N. I. Reshenie problem podvizhnogo sostava zheleznykh dorog Ukrainy cherez vzaimodeystvie gosudarstvennogo i chastnogo sektorov ekonomiki [The solution of the problems of the rolling stock of Railways Ukraine through the interaction of public and private sectors of economy] / N. I. Sergienko // Lokomotiv-inform. – 2010. – №6. – pp. 40-46.
2. Pravila tiagovykh raschetov dlia poezdnoi raboty [Rules traction calculations for train operation]. – М.: Transport, 1985. – 287 p.
3. Arpul S. V. Opredelenie sily tiagi passazhirskogo elektrovoza pri reshenii zadach tiagovogo obespecheniia [Definition traction control passenger locomotive when solving problems traction software] / S. V. Arpul // Elektrifikatsiia transporta, № 5. – 2013. – pp. 8-11.
4. Vysokoskorostnoe passazhirskoe dvizhenie (na zheleznykh dorogakh) [High-speed passenger traffic (Railways)] Pod red. Kolodiazhnogo N. V. – М.: Transport, 1976. – 416 p.
5. Beshcheva N. I. Mestnoe passazhirskoe dvizhenie na elektrifitsirovannykh liniakh [Local passenger traffic on electrified lines] / N. I. Beshcheva. – М.: Transport, 1965. – 224 p.
6. Spravochnik po elektropodvizhnomu sostavu, teplovozam i dizel-poezdam [Handbook of the electric rolling stock, diesel locomotives and diesel trains] / Pod red. A. I. Tishchenko. V.1. – М.: Transport, 1976. – 432 p.
7. Issledovanie vysokoskorostnogo elektropoezda ER200 [The study of high-speed trains] / Pod red. V. G. Inozemteva. Sb. науч. tr. – М.: Transport, 1985. – 83 p.
8. Arpul S. V. Opredelenie skorosti dvizheniia i udelnoi moshchnosti nominalnogo rezhima passazhirskikh elektrovozov [The definition of speed and power density nominal mode of passenger electric locomotives] /S. V. Arpul // Elektrifikatsiia transporta, № 7. – 2014. – pp. 107-113.

Поступила в печать 19.11.2014.

Ключевые слова: скорость номинального режима, ускоряющая сила, удельная номинальная мощность, основное удельное сопротивление движению, удельная мощность электровоза.

Внешний рецензент Панасенко Н. В.

Внутренний рецензент Гетьман Г. К.

Приведены результаты определения рациональных параметров номинального режима электроподвижного состава для вождения пассажирских поездов при заданной их составности и технической скорости движения. В работе указано, что для обновления парка электровозов необходимо решение двух отдельных задач: определение рациональных значений основных внешних параметров электровоза для вождения поездов на конкретном направлении при заданной их составности и технической скорости движения; определение оптимальной градации мощности парка электровозов для обеспечения пассажирских перевозок на заданном полигоне тяги.

В данной работе приведены результаты, касающиеся выбора рациональных параметров электровозов. Установлены критерии, определяющие оптимальные значения параметров электровозов для пассажирского движения. Установлено, что номинальная мощность электровоза при регламентированной величине пускового ускорения, характеристиках продольного профиля железнодорожного пути, известном типе тягового привода и установленной составности поезда, однозначно определяется величиной пусковой скорости, поэтому задача определения оптимальных параметров номинального режима пассажирского электровоза сводится к определению оптимального значения пусковой скорости. В работе приведены рекомендации по выбору параметров номинального режима для пассажирских электровозов с асинхронным приводом.

УДК 656.224.022.846

С. В. АРПУЛЬ (ДНУЗТ)

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел.: (056) 373-15-31, ел. пошта: arpul@ukr.net

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Наведено результати визначення раціональних параметрів номінального режиму електрорухомого складу для обслуговування пасажирських поїздів при заданій їх масі та технічній швидкості руху.

У роботі зазначено, що для оновлення парку електровозів необхідно вирішення двох окремих задач: визначення раціональних значень основних зовнішніх параметрів електровоза для обслуговування поїздів на конкретному напрямку при заданій їх масі та технічній швидкості руху; визначення оптимальної градаци потужності парку електровозів для забезпечення пасажирських перевезень на заданому полігоні тяги.

В даній роботі наведено результати, що стосуються вибору раціональних параметрів електровозів. Встановлено критерії, що визначають оптимальні значення параметрів електровозів для пасажирського руху. Встановлено, що номінальна потужність електровоза при регламентованій величині пускового прискорення, характеристиках поздовжнього профілю залізничної колії, відомому типі тягового привода і встановленій масі поїзда, однозначно визначається величиною пускової швидкості, тому задача визначення оптимальних параметрів номінального режиму пасажирського електровоза зводиться до визначення оптимального значення пускової швидкості. У роботі наведено рекомендації щодо вибору параметрів номінального режиму для пасажирських електровозів з асинхронним приводом.

Ключові слова: швидкість номінального режиму, прискорююча сила, питома номінальна потужність, основний питомий опір руху, питома потужність електровоза.

Внутрішній рецензент *Гетьман Г. К.*

Зовнішній рецензент *Панасенко М. В.*

UDC 656.224.022.846

S. V. ARPUL (DNURT)

Department of electric rolling stock of railways. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after academician Lazaryana, str. Lazaryana, 2, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49010, tel.: (056) 373-15-31, e-mail: arpul@ukr.net

THE CHOICE OF RATIONAL PARAMETERS OF THE TRACTION ELECTRIC ROLLING STOCK

The results of the determination of rational parameters of the nominal mode of the electric rolling stock for driving passenger trains at specified their trains and technical speed.

In the paper indicated that for upgrading the fleet of locomotives requires solving two separate problems: the definition of rational values of the main external parameters of the locomotive to drive trains in a specific direction at a given their trains and technical speed; determining an optimal gradation power electric locomotives for passenger traffic on the specified polygon thrust.

In this paper we present the results regarding the choice of rational parameters of electric locomotives. Established criteria that determine the optimal values of parameters of electric locomotives for passenger traffic. It is established that the nominal power of the locomotive when the regulated value of the starting acceleration characteristics of the longitudinal profile of the railway track, a known type of traction drive and installed trains train, is uniquely determined by the value of the starting speed, so the problem of determining the optimal parameters of the nominal mode of passenger locomotive is reduced to the determination of the optimal values of the starting speed. The paper contains recommendations on the choice of parameters in the nominal mode for passenger locomotives with asynchronous drive.

Keywords: speed rated mode, accelerating power unit rated power of the main specific resistance movement, the power density of the electric locomotive.

Internal reviewer *Getman G. K.*

External reviewer *Panasenko M. V.*

© Арпуль С. В., 2014