

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОМИНАЛЬНОГО РЕЖИМА ТЯГОВЫХ СРЕДСТВ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Наведено методику, що дозволяє визначити оптимальні значення головних зовнішніх параметрів локомотива для водіння поїздів на даному напрямку при заданому складі поїзда і технічній швидкості руху.

Приведена методика, позволяющая определить оптимальные значения основных внешних параметров локомотива для вождения поездов на данном направлении при заданной составности поезда и технической скорости движения.

The procedure allowing to determine the optimum values of main external parameters of a locomotive for driving trains with the given train set and technical speed of motion is presented.

В общем транспортном процессе существенное место занимают пассажирские перевозки. Мобильность населения возрастает все более высокими темпами как следствие экономического и культурного прогресса, которому, в свою очередь, активно способствует развитие и совершенствование средств сообщения. Такая взаимозависимость определяет непрерывное увеличение размеров пассажирских перевозок.

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. Так, уже в 2003 г. дефицит пассажирских электровозов переменного тока составил 126 шт., вагонов электропоездов переменного тока 18 шт.

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

Решение такой проблемы требует решения следующих задач:

– определение оптимальных значений основных внешних параметров локомотива для вождения поездов на конкретном направлении

при заданной составности поезда и маршрутной скорости движения;

– определение оптимальной градации мощности парка локомотивов для обеспечения пассажирских перевозок на заданном полигоне тяги.

В настоящей статье 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. Такой подход представляется оправданным, поскольку затраты на электроэнергию составляют существенную часть эксплуатационных расходов железных дорог.

Используя единицы измерения физических величин, регламентированные правилами тяговых расчетов [1], мощность продолжительного режима пассажирского электровоза определим как

$$N_n = 2,725 k_N F_{кп} v_n, \text{ Вт}, \quad (1)$$

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

v_n – 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_p – 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 $a_{\text{п}}$. Сформулированному условию соответствует, как можно показать, сила тяги

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

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

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

i – значение уклона элемента профиля, на котором производится разгон поезда;

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

$a_{\text{п}}$ – значение ускорения при достижении пусковой скорости и движении поезда на площадке (на основании [3 – 6] может быть принят равным 0,3...0,4 м/с²).

В выражении (3) фигурирует масса электровоза 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 учтя, что

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

получим в виде

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

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

$w_{\text{пр}}$ – дополнительное удельное сопротивление движению состава от подвагонных генераторов [1].

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

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

Анализ выражения (6) показал, что основными параметрами, определяющими величину k_p , являются пусковая скорость $v_{\text{п}}$ и ускорение при пуске $a_{\text{п}}$. Значение k_p не зависит от величины уклона, так как задача решается, исходя из условия реализации заданного пускового ускорения на площадке [2]. С достаточной для практических расчетов точностью зависимость $k_p(v_{\text{п}}, a_{\text{п}})$, определенную выражением (6), можно аппроксимировать трехчленом вида

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

где $v_{\text{п}}$ – значение пусковой скорости, км/ч;

$a_{\text{п}}$ – значение пускового ускорения, м/с²;

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

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

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 электровоза при заданной массе поезда определяется, главным образом, величиной пусковой скорости. Следовательно, определение оптимальной мощности локомотива сводится к установлению оптимального значения пусковой скорости $v_{\text{п(опт)}}$.

Для решения задачи воспользуемся предложенным в [7] подходом к определению расчетной скорости грузовых электровозов, учтя особенности решения задачи применительно к пассажирскому движению.

Решение данной задачи предполагает выполнение следующей процедуры:

– для ряда заданных значений пусковой скорости определяются предельные тяговые характеристики электровоза [2];

– для принятых значений пусковой скорости $v_{\text{п}}$ на основании тяговых расчетов [7] определяется зависимость минимального расхода электроэнергии от заданной величины технической скорости;

– по $a_{\text{мин}}(v_{\text{т}}, v_{\text{п}})$ определяется зависимость оптимальной пусковой скорости $v_{\text{п(опт)}}$, соответствующей минимуму расхода электроэнергии на тягу, и, соответственно, мощности номинального режима от технической скорости.

Установленные зависимости $v_{\text{п(опт)}}(v_{\text{т}})$ и $N_{\text{н(опт)}}(v_{\text{т}})$ характеризуют конкретный участок железнодорожной линии и не зависят от составности поезда. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Уравнение движения поезда представим в виде [2]

$$v \frac{dv}{ds} = \xi(f_{\text{к}}(v) - b_{\text{к}}(v) - w_0(v) - i(s)), \quad (9)$$

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

w_0 – удельное основное сопротивление движению поезда;

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

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

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

Область определения управляющих параметров $b_{\text{к}}(v)$, $f_{\text{к}}(v)$ и $w_0(v)$ можно установить следующим образом.

Тормозная сила поезда может принимать следующие значения

$$0 \leq b_{\text{к}} \leq \bar{b}_{\text{к}}, \quad (10)$$

где $\bar{b}_{\text{к}}$ – предельное значение тормозной силы [1]

$$\bar{b}_{\text{к}} = 1000 \vartheta_{\text{п}} \varphi_{\text{кр}}, \quad (11)$$

где $\vartheta_{\text{п}}$ – расчетный тормозной коэффициент, определяемый действующими тормозными нормативами;

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

Сила тяги электровоза удовлетворяет условию

$$0 \leq f_{\text{к}}(v) \leq \bar{f}_{\text{к}}(v), \quad (12)$$

где $\bar{f}_{\text{к}}(v)$ – представляет собой предельную тяговую характеристику электровоза в удельных единицах. Как показано в [2], $\bar{f}_{\text{к}}(v)$ 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 – $0 \leq v \leq v_{\text{п}}$;

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

– зона “сериесной” характеристики – $v_{\alpha} \leq v \leq v_{\text{к}}$.

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 переменной массу состава и локомотива.

Таблица 2

Координаты предельной тяговой характеристики

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

С помощью представленной методики были выполнены расчеты по определению пусковой скорости пассажирских электровозов для железных дорог Украины. Их результаты для различных направлений представлены на рис. 1 и 2 в виде зависимостей $v_{\text{п(опт)}}(v_{\text{т}})$.

Они показывают, что для вождения поездов на разных участках требуются электровозы с различной оптимальной пусковой скоростью, а, соответственно, и номинальной мощностью.

Очевидно, что для конкретного полигона тяги следует выбрать параметры электровоза так, чтобы обеспечивалась реализация заданной скорости движения на всех линиях, составляющих полигон тяги.

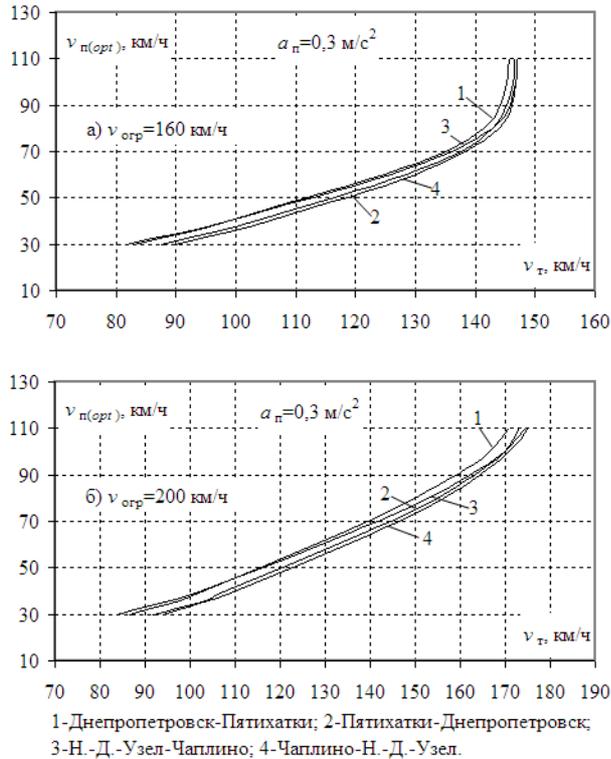


Рис. 1. Зависимость оптимальной пусковой скорости от технической для электровоза постоянного тока

На основании выполненных тяговых расчетов для электровозов постоянного и переменного тока были выявлены наиболее сложные для вождения пассажирских поездов участки, которые являются определяющими при выборе мощности электровоза. Именно для этих участков были выполнены тяговые расчеты для пассажирского состава с электровозом, имеющим асинхронный тяговый привод. Их результаты приведены на рис. 3.

На основании выражения (1) и результатов тяговых расчетов определены зависимости оптимальной удельной мощности электровоза от технической скорости $N_{y(опт)}(v_T)$, которые представлены на графиках рис. 4.

Выводы

Данные рис. 1–3 позволяют определить, при заданной технической скорости, оптимальное значение пусковой скорости, и, соответственно, значение номинальной удельной мощности электровоза (см. рис. 4). Например, при $v_T = 140 \text{ км/ч}$ (для ЭПС с АТП при

$v_{орп} = 200 \text{ км/ч}$) $v_{п} = 85 \text{ км/ч}$, а удельная мощность $N_{y(опт)} = 9,8 \text{ кВт/т}$.

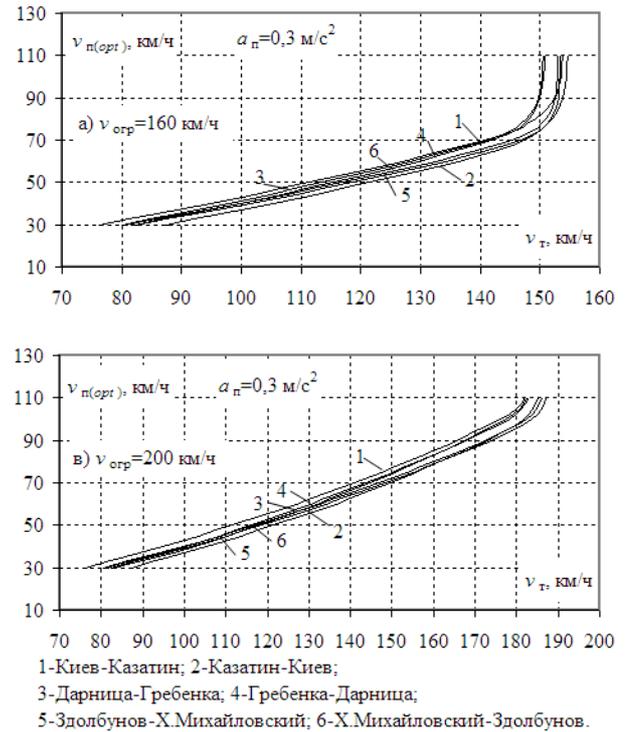


Рис. 2. Зависимость оптимальной пусковой скорости от технической для электровоза переменного тока

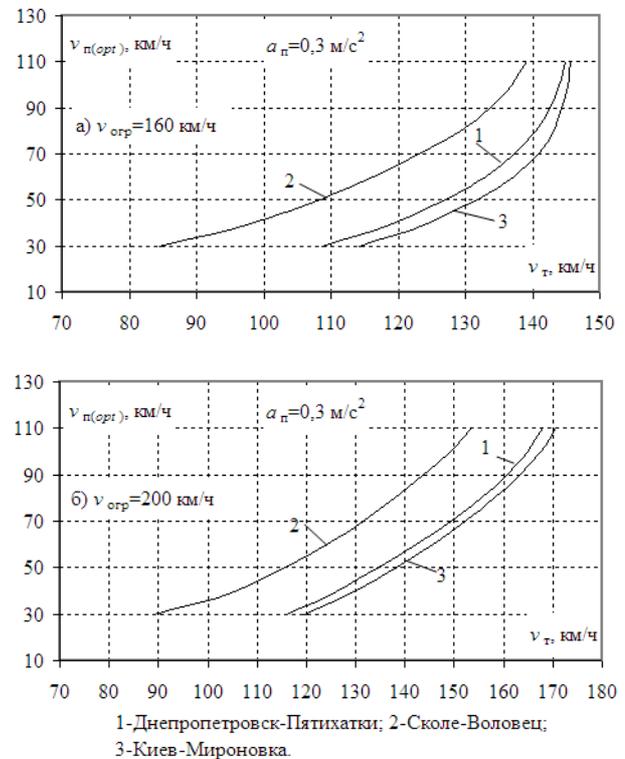


Рис. 3. Зависимость оптимальной пусковой скорости от технической для электровоза с АТП

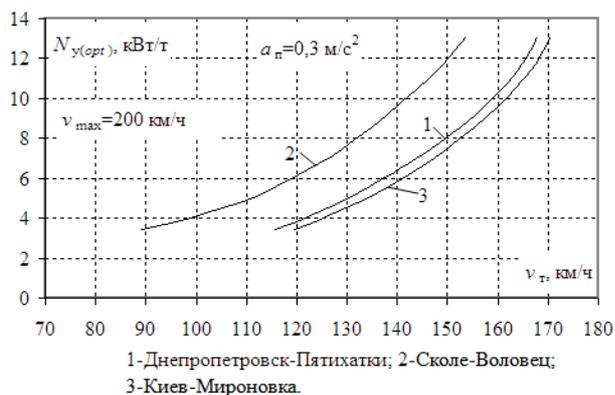


Рис. 4 – Зависимость оптимальной удельной мощности электровоза от технической скорости для электровоза с АТП

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

2. Арпуль С. В. Моделирование области допустимых управлений уравнения движения пассажирского поезда // Сб. науч. тр. ДИИТа.
3. Высокоскоростное пассажирское движение (на железных дорогах) / Под ред. Н. В. Колодяжного. – М.: Транспорт, 1976. – 416 с.
4. Бещева Н. И. Местное пассажирское движение на электрифицированных линиях. – М.: Транспорт, 1965. – 224 с.
5. Справочник по электроподвижному составу, тепловозам и дизель-поездам. Т. 1. / Под ред. А. И. Тищенко. – М.: Транспорт, 1976. – 432 с.
6. Исследование высокоскоростного электропоезда ЭР200 / Под ред. В. Г. Иноземцева // Сб. науч. тр. – М.: Транспорт, 1985. – 83 с.
7. Гетьман Г. К. Выбор оптимальных параметров перспективных электровозов для грузового движения // Залізничний транспорт України, 2000. – № 3. – С. 47-51.

Поступила в редколлегию 28.03.2008.