

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МОЩНОСТНОГО РЯДА ТЯГОВЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ПОЛИГОНЕ ТЯГИ

Наведено методику визначення оптимального ряду потужностей тягових засобів для пасажирських перевезень при обертанні на полігоні тяги локомотивного депо або дороги поїздів декількох швидкісних категорій.

Приведена методика определения оптимального мощностного ряда тяговых средств для пассажирских перевозок при обращении на полигоне тяги локомотивного депо или дороги поездов нескольких скоростных категорий.

A method of determining optimal power range of tractive vehicles for passenger operations in case of applying several speed categories on traction area of a locomotive depot or a railroad has been developed.

Основные внешние параметры тяговых средств (сила тяги, скорость движения, мощность номинального режима) обычно определяют из условия минимизации избыточной мощности потребного парка тяговых средств и среднего количества тяговых единиц (далее кратности тяги), необходимого для формирования тяговых сцепов требуемой мощности.

Вопросы моделирования взаимосвязи показателей и параметров оптимизации в задачах тягового обеспечения грузовых железнодорожных перевозок рассмотрены в [1]. В настоящей статье эти вопросы рассматриваются применительно к пассажирскому движению, причем для определенности в качестве тяговых средств приняты электровозы.

На зоне обращения локомотивов конкретного депо или дороги в общем случае могут обращаться поезда разных скоростных категорий (пассажирские, ускоренные пассажирские, скоростные и т. д.). Рассмотрим сначала случай, когда вождение поездов каждой категории осуществляется электровозами, пусковая скорость которых соответствует скоростной категории поездов, т. е. выбрана из условия реализации заданного уровня ходовой скорости движения независимо от значения мощности номинального режима [2].

Очевидно решение задачи состоит в определении такого сочетания значений мощности номинального режима электровозов (тяговых модулей) для каждой скоростной категории, при котором требуемая мощность потребного парка электровозов y_N и кратности тяги y_k будут минимальными. Иначе говоря, решение задачи состоит в поиске таких значений номинальной мощности электровозов для вождения поездов $j = 1, m$ скоростных категорий поездов чтобы:

$$\left. \begin{array}{l} N_{n1}, N_{n2}, \dots, N_{nj}, \dots, N_{nm} \\ y_N \rightarrow \min; \quad y_k \rightarrow \min. \end{array} \right\} \quad (1)$$

Рассмотрим порядок определения показателей оптимизации y_N и y_k .

На основании полученных в [1] расчетных выражений для каждого участка и каждой скоростной категории, выбранному сочетанию значений номинальной мощности $N_{nj} (j = \overline{1, m})$ можно определить $n \times m$ значений.

$$y_{Nij}; y_{kij} \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

где y_{Nij} и y_{kij} – средние значения соответственно, избыточной мощности и кратности тяги, приходящиеся на i -м участке на один поезд или электровоз эксплуатируемого парка j -й категории.

Для определения показателей оптимизации, необходимо определить структуру распределения электровозов эксплуатируемого парка по участкам и категориям.

В отличие от грузового движения, где средняя масса поезда зависит при данных внешних параметрах тяговых средств от величины расчетного подъема, в пассажирском движении доля эксплуатируемого парка, обусловленная каждым участком, определяется числом пар поездов, участковой скоростью и рядом других факторов, влияющих на величину оборота локомотива. Например, согласно [3; 4] эксплуатируемый парк пассажирских локомотивов

$$N_3 = \frac{1}{24} \left(\frac{2L_T}{\beta_M V_x} + T_d \right) \frac{L_H}{L_T} N_n (1 + \gamma_L), \quad (2)$$

где L_T – длина тягового плеча, км; L_H – протяженность рассматриваемого направления, км;

L_n/L_T – число тяговых плеч на рассматриваемом направлении; T_d – время простоя локомотива в пунктах оборота и при остановках на отдельных пунктах, приходящееся на один оборот локомотива, ч; суточные размеры движения пассажирских поездов в одном направлении, поездов

$$N_{\Pi} = \frac{Ak_{\Pi}^n q_{\text{бр}}}{a_0 Q_{\text{бр}}},$$

где A – суточный пассажиропоток в одном направлении; k_{Π}^n – коэффициент месячной неравномерности пассажиров; $q_{\text{бр}}$ – масса брутто вагона; a_0 – средняя вместимость вагона; γ_d – коэффициент, учитывающий долю нерабочего парка локомотивов, $\gamma_d = 0,10 \div 0,16$. $\beta_M = V_M/V_X$ – коэффициент маршрутной скорости, равный отношению маршрутной скорости V_M к среднеходовой V_X на всем направлении.

Из приведенного выражения следует, что число электровозов эксплуатируемого парка на каждом участке будет включать разновидности, определяемые скоростной категорией поездов, а численность каждой разновидности будет определяться факторами, фигурирующими в выражении (2) для определения N_3 .

Введем следующие обозначения: N_{ij} – количество электровозов j -й скоростной категории на i -м участке; эксплуатируемый парк, необходимый для организации движения поездов всех категорий в пределах данной зоны обращения

$$N_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m N_{ij},$$

где количество электровозов j -й категории для всей зоны

$$N_j = \sum_{i=1}^n N_{ij};$$

количество электровозов всех категорий для i -го участка.

$$N_i = \sum_{j=1}^m N_{ij}.$$

Нетрудно видеть, что имеют место равенства:

$$N_3 = \sum_{j=1}^m N_j \quad N_3 = \sum_{i=1}^n N_i \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Доли электровозов N_{ij} , N_i и N_j в парке эксплуатируемых на зоне обращения локомотивов обозначим следующим образом:

- доля электровозов j -й категории на i -м участке в эксплуатируемом парке

$$\alpha_{ij} = \frac{N_{ij}}{N};$$

- доля электровозов j -й категории на i -м участке в парке данной категории на зоне

$$\beta'_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} \quad j = \overline{1, m}; \quad i = \overline{1, n};$$

- доля электровозов j -й категории на i -м участке в парке локомотивов всех категорий на данном участке

$$\beta''_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_j} \quad j = \overline{1, m}; \quad i = \overline{1, n};$$

- доля электровозов j -й категории в эксплуатируемом парке всей зоны

$$\gamma'_j = \frac{N_j}{N_3};$$

- доля электровозов i -го участка (всех категорий) в эксплуатируемом парке зоны

$$\gamma''_i = \frac{N_i}{N_3}.$$

Нетрудно убедиться в справедливости соотношений:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = 1;$$

$$\sum_{i=1}^n \beta'_{ij} = 1 \quad \text{при любом } j = \overline{1, m}$$

$$\sum_{i=1}^n \beta''_{ij} = 1 \quad \text{при любом } j = \overline{1, n}.$$

Взаимосвязь величины α со значениями β и γ , относящимися к данной скоростной категории можно представить как:

$$\alpha_{ij} = \beta'_{ij} \frac{N_j}{N} \quad \text{и} \quad \beta'_{ij} = \alpha_{ij} \frac{N}{N_j};$$

$$\beta'_{ij} = \gamma'_{ij} \frac{N_j N}{N^2} \quad \text{и} \quad \gamma'_{ij} = \beta'_{ij} \frac{N_j^2}{N_j N}$$

(одинаковы для всех значений i);

$$\alpha_{ij} = \gamma'_j \frac{N_{ij}}{N_j} \text{ или } \gamma'_j = \alpha_{ij} \frac{N_j}{N_{ij}}$$

(одинаковы для всех значений i).

Нетрудно показать, что все приведенные соотношения равнозначны выражению

$$\alpha_{ij} = \gamma'_j \beta'_{ij}. \quad (4)$$

Средневзвешенное значение показателей оптимизации для каждой категории на всей зоне определяется как:

$$y'_{Nj} = \sum_{i=1}^n \beta'_{ij} y_{Nij} \text{ или } y'_{Nj} = \frac{N}{N} \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} y_{Nij}; \quad (5)$$

$$y'_{kj} = \sum_{i=1}^n \beta'_{ij} y_{kij} \text{ или } y'_{kj} = \frac{N}{N} \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} y_{kij}. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) можно записать также в виде

$$y'_{Nj} = \frac{1}{\gamma'_j} \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} y_{Nij} \quad y'_{kj} = \frac{1}{\gamma'_j} \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} y_{kij}.$$

Выполнив необходимые вычислительные процедуры, с помощью приведенных выше выражений найдем значения показателей y'_{Nj} и y'_{kj} :

$$y'_{N1}, y'_{N2}, y'_{N3}, \dots, y'_{Nj}, \dots, y'_{Nm};$$

$$y'_{k1}, y'_{k2}, y'_{k3}, \dots, y'_{kj}, \dots, y'_{km};$$

соответствующих избыточной мощности и кратности тяги, обусловленных j -й скоростной категорией поездов.

Среднее значение избыточной мощности и кратности тяги определяется как:

$$y_N = \sum_{j=1}^m y'_{Nj} y'_j \quad y_k = \sum_{j=1}^m y'_{kj} y'_j. \quad (5)$$

С учетом (4)–(6) из выражения (7) получаем очевидное:

$$y_N = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} y_{Nij} \quad y_k = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} y_{kij}. \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6) видно, что значения показателей оптимизации для отдельных скоростных категорий являются величинами независимыми, поэтому задача (1) распадается на m отдельных задач по определению оптимальной номинальной мощности электровозов для каждой скоростной категории поездов. Т. е. для решения задачи следует для каждого $j = \overline{1, m}$ найти такое значение N_{ij} , чтобы $y_{Nj} \rightarrow \min$ и $y_{kj} \rightarrow \min$.

При решении ряда задач представляется необходимым анализ распределения составляющих показателей оптимизации по отдельным участкам зоны обращения. В этом случае величины α_{ij} , β''_{ij} , γ''_i связаны следующими выражениями:

$$\alpha_{ij} = \beta''_{ij} \frac{N_{ij}}{N}, \text{ и } \beta''_{ij} = \alpha_{ij} \frac{N}{N_{ij}}; \quad (7)$$

$$\beta''_{ij} = \gamma''_i \frac{N_{ij}}{N_i^2} N,$$

$$\text{и } \gamma''_i = \beta''_{ij} \frac{N_i^2}{N_{ij} N} \text{ (при любом } j); \quad (8)$$

$$a_{ij} = \gamma''_i \frac{N_{ij}}{N_i}$$

$$\text{и } \gamma''_i = a_{ij} \frac{N_i}{N_{ij}} \text{ (при любом } j). \quad (9)$$

Анализируя полученные выражения, приходим к выводу, что все они представляют одно и то же соотношение

$$a_{ij} = \gamma''_i \beta''_{ij}. \quad (10)$$

С учетом приведенных выражений для средних значений показателей на i -м участке получаем:

$$y''_{Ni} = \sum_{j=1}^m \beta''_{ij} y_{Nij} \quad y''_{ki} = \sum_{j=1}^m \beta''_{ij} y_{kij}$$

или

$$y''_{Ni} = \frac{N}{N_i} \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} y_{Nij} \quad y''_{ki} = \frac{N}{N_i} \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} y_{kij},$$

или

$$y''_{Ni} = \frac{1}{\gamma''_i} \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} y_{Nij} \quad y''_{ki} = \frac{1}{\gamma''_i} \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} y_{kij}.$$

С помощью приведенных выше формул можно найти значения показателей y''_{Ni} и y''_{ki} :

$$y''_{N1}, y''_{N2}, y''_{N3}, \dots, y''_{Nn};$$

$$y''_{k1}, y''_{k2}, y''_{k3}, \dots, y''_{kn},$$

представляющих избыточную мощность и кратность тяги для каждого участка зоны обращения ($i = \overline{1, n}$), обусловленные всеми категориями $j = \overline{1, m}$ обращающихся на участке поездов.

Среднее значение избыточной мощности и кратности тяги:

$$y_N = \sum_{i=1}^n y_{Ni} \gamma_i'' \quad y_k = \sum_{i=1}^n y_{ki} \gamma_i'' . \quad (11)$$

Воспользовавшись выражениями (12) и (9)–(11), можно убедиться в том, что выражения (13), как и должно быть, равнозначны выражениям (7) и (8).

В заключение отметим, что если для вождения всех скоростных категорий поездов требуются электровозы или тяговые модули одного типа, то показатели оптимизации можно определить по зависимостям, приведенным в [1]. Особенности определения закона распределения вероятности потребной мощности номинального режима для такого случая изложены в [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гетьман Г. К. Определение рационального мощностного ряда грузовых электровозов для железных дорог Украины // Залізничний транспорт України. – 2002. – № 6. – С. 29–34.
2. Гетьман Г. К. Моделирование характеристик пассажирского электроподвижного состава / Г. К. Гетьман, С. В. Арпуль // Сб. науч. тр. Национальной горной академии Украины. – 2002. – Т. 3, № 15. – С. 118–125
3. Кочнев Ф. П. Вес и скорость пассажирских поездов. – М.: Транспорт, 1965. – 276 с.;
4. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железных дорог: Учеб. пособие для вузов / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1990. – 424 с.
5. Гетьман Г. К. Определение оптимального мощностного ряда пассажирских электровозов / Г. К. Гетьман, С. В. Арпуль // Залізничний транспорт України. – 2005.

Поступила в редколлегию 25.05.2005.