

УДК 629.4.016.12:519.2

С. В. НЕГРЕЙ, Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, г. Минск

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ВЕСА СОСТАВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ ДЛИНЫ ПРИЕМО-ОТПРАВОЧНЫХ ПУТЕЙ В УСЛОВИЯХ КОЛЕБАНИЙ ОСЕВОЙ НАГРУЗКИ

Важным направлением энергосбережения является поиск резервов повышения веса поездов, что требует изменения метода нормирования расчетного веса в условиях колебаний осевой нагрузки.

Предлагается новый метод выбора расчетной нагрузки на ось вагонов и определения веса поезда.

Принятая в «Правилах тяговых расчетов для поездной работы» (ПТР) методика определения массы состава ориентирована на использование в расчетах средней осевой нагрузки при условии движения с равномерной скоростью на расчетном подъеме.

В соответствии с этими требованиями [1] вес состава

$$Q = \frac{F_{кр} - (\omega'_o + i_p)P}{\omega''_o + i_p}, \quad (1)$$

где $F_{кр}$ – расчетное значение касательной силы тяги, кН; ω'_o, ω''_o – соответственно основное удельное сопротивление движению локомотива и вагона, Н/кН; i_p – расчетный подъем, ‰; P – расчетная масса локомотива, т.

Установленная по формуле (1) масса состава в соответствии с требованиями ПТР проверяется по длине приемо-отправочных путей ($l_{поп}$), которую не должна превышать длина поезда l_n на участках обращения (с учетом допуска 10 м на установку поезда), т. е. $l_n \leq l_{поп}$ [1].

Длина поезда

$$l_n = l_c + M_l l_l + 10, \quad (2)$$

где l_c – длина состава, м; M_l – количество локомотивов; l_l – длина локомотива, м.

Длина состава

$$l_c = \sum_{i=1}^k n_i l_i, \quad (3)$$

где n_i – количество вагонов i -го типа в сформированном составе; l_i – длина i -го типа вагона, из которых сформирован состав.

Однако подход, положенный в основу формулы (1), не учитывает колебания осевой нагрузки и не доказывает положение о ведении расчетов по среднему ее значению. Следовательно, игнориро-

вание вероятностного характера условий формирования и движения поездов по участку снижает эффективность использования мощности тяговых средств, что приводит к повышенному расходу топливно-энергетических ресурсов.

В [2] показано, что осевая нагрузка является функцией большого количества факторов и может описываться методами теории вероятностей и математической статистики.

Для наиболее распространенной ситуации, когда колебания осевой нагрузки описываются нормальным законом распределения, основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов

$$\omega''_o = A + \frac{B + Cv + Dv^2}{\bar{g}_o(1 - 0,637\gamma^2)}, \quad (4)$$

где A, B, C, D – эмпирические коэффициенты, зависящие от типа подвижного состава и верхнего строения пути; v – скорость движения поезда, км/ч; \bar{g}_o – среднее значение массы, приходящейся на ось колесной пары (осевая нагрузка), т; γ – коэффициент вариации колебаний осевой нагрузки.

Кроме того, в зоне от минимальной до средней нагрузки на ось колесной пары (рисунок 1) поезда будут формироваться полносоставными, и у локомотивов таких поездов будет резерв мощности по тяге. Все поезда с нагрузкой от средней до максимальной имеют вес больший, чем норматив, установленный по графику движения поездов (ПТР). При этом скорость движения в обоих случаях – одинакова. В то же время на «легких» элементах профиля сопротивление движению у тяжелых поездов будет даже несколько меньше, чем у поездов, вес которых соответствует норме по ПТР. Для доказательства этого положения рассмотрим выражение

$$P_l(\omega'_o + i_p) + Q_p(\omega''_{op} + i_p) = P_l(\omega'_o + i_p) + Q_{max}(\omega''_{o(max)} + i_p), \quad (5)$$

где Q_{\max} – расчетное значение веса поезда при максимальной осевой нагрузке; $\omega''_{o(\max)}$ – основное удельное сопротивление движению грузовых вагонов при максимальной осевой нагрузке.

Преобразуем формулу (5) с учетом соотношений максимального и расчетного веса поезда.

Тогда

$$\frac{Q_{\max}}{Q_p} = \frac{\omega''_{op} + i_p}{\omega''_{o(\max)} + i_p}. \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что если $\frac{\omega''_{op} + i_p}{\omega''_{o(\max)} + i_p} > 1$, то поезда с расчетной нагрузкой от \bar{g}_o до $g_{o(\max)}$ будут, в соответствии с требованиями ПТР, иметь резерв мощности локомотива на расчетном подъеме. Покажем это на примере одного из участков Белорусской железной дороги: расчетный подъем 7 ‰, колебания осевой нагрузки описываются нормальным законом распределения с параметрами $\bar{g}_o = 13,5$ кН/ось, $\gamma = 0,23$, $F_{кр} = 506$ кН, максимальная осевая нагрузка $g_{o(\max)} = 23$ кН/ось.

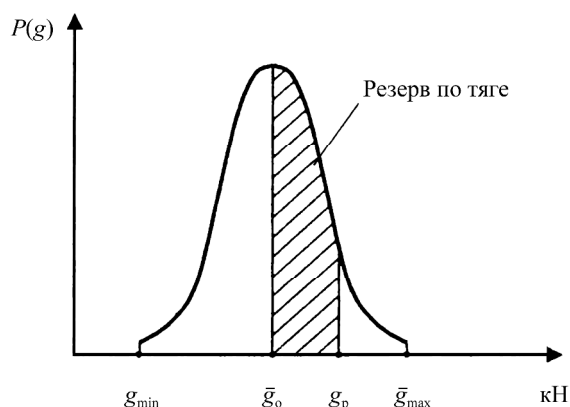


Рисунок 1 – Принципиальная схема к выбору расчетной осевой нагрузки

Установленные по формуле (4) значения основного удельного сопротивления составят $\omega''_{op} = 1,21$ Н/кН, $\omega''_{o(\max)} = 1,00$ Н/кН.

Используя (5), получим

$$\frac{Q_{\max}}{Q_p} = 1,026 > 1.$$

Если осевая нагрузка равна 23 т/ось, то на расчетном подъеме такой поезд будет иметь резерв мощности локомотива. Следовательно, вес поезда можно повысить на некоторую величину ΔQ , которая определяется по формуле

$$\Delta Q = \frac{(\omega''_o - \omega''_{o(\max)})(F_{кр} + P(\omega'_o + i_p))}{(\omega''_{o(\max)} + i_p)(\omega''_o + i_p)}. \quad (7)$$

Для условий рассмотренного примера расчетный вес поезда можно увеличить на 170 кН.

Используя формулу (7), построим график изменения величины ΔQ в зависимости от крутизны уклона для условий тепловозной тяги и приведенных выше исходных данных (рисунок 2). Из анализа рисунка 2 следует, что при максимальной осевой нагрузке на легких элементах продольного профиля тяжелые поезда будут иметь большой резерв по тяге. Очевидно, что данный резерв будет уменьшаться по мере приближения расчетной осевой нагрузки к своему среднему значению.

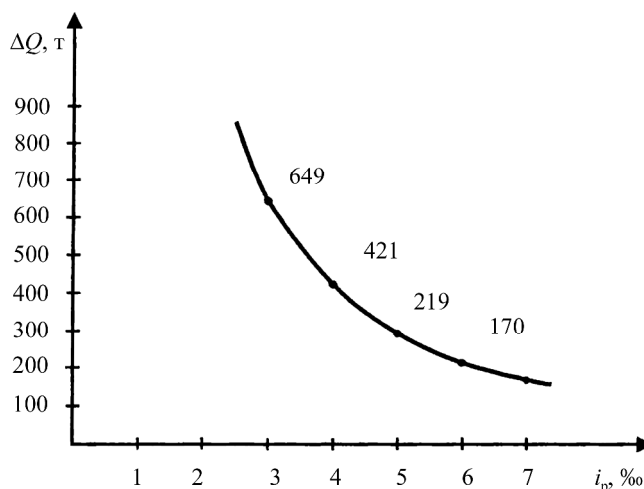


Рисунок 2 – Зависимость изменения величины ΔQ от крутизны уклона

Таким образом, для более полного использования возможностей тяги и полезной длины станционных путей вес состава следует определять по некоторой расчетной нагрузке, которая находится из решения следующего уравнения:

$$\begin{aligned} (F_{кр} - (\omega'_o + i_p)P) \left(A + \frac{B + Cv + Dv^2}{g_p(1 - 0,637\gamma^2)} \right) = \\ = (l_{\text{поп}} - (m_l l_l + 10)) \frac{g_p Z}{l_i}, \end{aligned} \quad (8)$$

где Z – количество осей в вагоне.

Преобразуя (8), находим

$$\begin{aligned} (A(1 - 0,637\gamma^2)l_{\text{поп}} - (m_l l_l + 10))Z + \\ + i_p(1 - 0,637\gamma^2)((l_{\text{поп}} - (m_l l_l + 10))Z)g_p^2 + \\ + ((F_{кр} - (\omega'_o + i_p)P)(1 - 0,637\gamma^2)l_i - \\ - (B + Cv + Dv^2)((l_{\text{поп}} - (m_l l_l + 10))Z)g_p = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Решая квадратное уравнение (9), получим

$$(A(1-0,637\gamma^2)((l_{\text{поп}} - (m_{\text{л}}l_{\text{л}} + 10))Z + i_{\text{р}}(1-0,637\gamma^2)((l_{\text{поп}} - (m_{\text{л}}l_{\text{л}} + 10))Z)g_{\text{р}} + (F_{\text{кр}} - (\omega'_0 + i_{\text{р}})P)(1-0,637\gamma^2)l_i - (B + Cv + Dv^2)(l_{\text{поп}} - (m_{\text{л}}l_{\text{л}} + 10))Z = 0. \quad (10)$$

Из уравнения (10) получено выражение для определения расчетной осевой нагрузки

$$g_{\text{р}} = \frac{(F_{\text{кр}} - (\omega'_0 + i_{\text{р}})P)(1-0,637\gamma^2)l_i - (B + Cv + Dv^2)(l_{\text{поп}} - (m_{\text{л}}l_{\text{л}} + 10))Z}{A(1-0,637\gamma^2)(l_{\text{поп}} - (m_{\text{л}}l_{\text{л}} + 10))Z + i_{\text{р}}(1-0,637\gamma^2)((l_{\text{поп}} - (m_{\text{л}}l_{\text{л}} + 10))Z)}. \quad (11)$$

Например, для полезной длины станционных путей 1050 м и принятых ранее условий $g_{\text{р}} = 22,36$ кН/ось.

Результаты исследований показали, что:

а) с повышением величины руководящего уклона расчетная нагрузка уменьшается и снижается возможность использования резерва мощности локомотива, т. е. железнодорожные линии с более крутым руководящим уклоном имеют меньше возможности для повышения веса поезда относительно его нормативного значения;

б) удлинение станционных путей вызывает уменьшение расчетной осевой нагрузки и повышает уровень использования мощности локомотивов, что способствует более широкому использованию энергосберегающих технологий;

в) с целью повышения эффективности перевозочного процесса, экономии топливно-энергетических ресурсов целесообразно систему «подвижной состав – постоянные устройства» настраивать на «резонанс» и применять адаптивные технологии перевозочного процесса с учетом условий колебаний осевой нагрузки.

Перевод практики нормирования веса состава от средней осевой нагрузки к расчетной позволяет увеличить долю полновесных и полносоставных поездов и сократить их общее количество. Из рисунка 1 следует, что доля поездов с осевой нагрузкой, изменяющейся от средней до ее расчетного значения,

$$\beta = 0,5 - \int_{g_{\text{р}}}^{\infty} P(g)dg. \quad (12)$$

Подставив значение плотности вероятности колебаний осевой нагрузки в выражение (12) и принимая $(g_{\text{р}} - \bar{g}_0)/\sigma = x$, окончательно получим

$$\beta = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{v^2}{2}} dv. \quad (13)$$

Для рассмотренного выше примера, когда $g_{\text{р}} = 22,36$ кН, $\bar{g}_0 = 13,5$ кН, а $\sigma = 3,17$ кН, находим

$$x = \frac{22,36 - 13,5}{3,17} = 2,79.$$

Пользуясь таблицами функции Лапласа и выполнив вычисления по формуле (13), устанавливаем, что $\beta = 0,5 - 0,01 = 0,49$. Тогда увеличение доли полновесных поездов позволит сократить размеры движения на величину

$$\Delta N = \frac{\Delta Q}{2Q} N\beta, \quad (14)$$

где N – размеры движения поездов в четном (нечетном) направлении.

Экономический эффект от внедрения новой практики нормирования веса состава для участка железной дороги

$$\Delta E = 2 \cdot 365 \Delta N L_{\text{уч}} C_{\text{пкм}}, \quad (15)$$

где $L_{\text{уч}}$ – длина участка, км; $C_{\text{пкм}}$ – стоимость одного поезда-км.

Подставив в формулу (15) значение ΔN из выражения (14), получим

$$\Delta E = 365 \cdot 14 \cdot 0,49 \cdot 108 \cdot 12800 \frac{170}{5854} \approx 1 \cdot 10^8 \text{ руб.}$$

Таким образом, более полное использование резерва мощности локомотива при определении веса состава в зависимости от расчетной нагрузки является целесообразной мерой повышения эффективности перевозочного процесса. Для средних условий эксплуатации железнодорожных линий повышение веса состава на 1 % позволяет снизить себестоимость перевозок примерно на 0,25 %.

Список литературы

- 1 Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М. : Транспорт, 1985. – 287 с.
- 2 Негрей, С. В. Вероятностные модели в теории тяговых расчетов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2007. – С. 78–85.
- 3 Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 247 с.

Получено 01.12.2008

S. V. Negrey. The Reserves of Train Mass Rise and the Using of Actual Length of Sending Track Receiving at Condition of Axial Loading Oscillation.

It has stated the approach a revealing of reserves of train mass using in condition of axial loading oscillation. In given article the new criterion of axial loading oscillation.