УДК 622.278

ОПТИМІЗАЦІЯ ВАГОВИХ НОРМ ПОТЯГІВ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ПРОМИСЛОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кузьменко С.В., Кейс В.А., Литвищенко І.Б.

WEIGHT NORMS OPTIMIZATION OF TRAINS FOR THE ENTERPRISES OF INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT

Kuzmenko S, Kejs V., Lytvyschenko I.

Аналіз технологічного процесу підприємств промислового залізничного транспорту, тягових характеристик локомотивів, економічних складових перевізного процесу дозволив визначити оптимальну вагову норму потягів, яка забезпечує мінімальні економічні витрати.

Ключові слова: *тяговий розрахунок, вагова норма, тягова характеристика, опір руху, локомотив, вагон, потяг, витрати*

Постановка проблеми. Управління роботою будь-якого підприємства в сучасних умовах має бути спрямоване на мінімізацію виробничих витрат, забезпечення привабливих умов роботи для клієнтів і тому подібне. Підприємства промислового залізничного транспорту (ППЗТ) не є виключенням в цьому ряду. Досить тяжкі цінові умови, Укрзалізницей, що накладаються, за використання вагонів, висока вартість паливно-мастильних матеріалів, велика зношеність тягового рухомого складу, конкуренція з боку автомобільного транспорту призводять до необхідності перегляду методики управління підприємством.

Найбільш просте рішення в ситуації, що склалася, яке повсюдно використовується на ППЗТ, - перекладання відповідальності на клієнтів підприємства за використання вагонів Укрзалізниці. Ця пасивна позиція ППЗТ призводить до збільшення простою вагонів і, відповідно, збільшення часу обороту вагонів, додаткових фінансових витрат клієнтів зважаючи на вже вказані чинники.

Аналіз останніх досліджень. Методологія виробництва тягових розрахунків [1] грунтується на максимізації продуктивності локомотиву [2], визначуваною як:

$$W_л = \frac{\sum QL}{M}, \text{ т-км} \qquad (1)$$

де Q - маса вагонів потягів брутто, т;
L - відстань пробігу потягів, км;
M - експлуатований парк локомотивів, шт.

Використання основних залежностей правил тягових розрахунків дозволяє отримати наступне:

$$W_л = \frac{N_л L}{3,6\left(W_0 + i_e\right)g} - PL, \text{ т-км} \qquad (2)$$

де $N_л$ - потужність локомотиву, Вт.
W_0 - питомий опір руху потягу, кгс/т;
i_e - еквівалентний ухил ділянки шляху, $^0/_{00}$.
P - маса локомотиву, т;
L - довжина ділянки звернення потягів, км.

Аналіз (2) дозволяє зробити наступні висновки:

- для підвищення продуктивності локомотивів необхідно підвищувати масу потягу за рахунок відповідного зниження швидкості, а не навпаки;
- максимальна продуктивність заданого локомотиву на прийнятому профілі шляху може бути отримана при використанні максимально можливої (розрахункової) сили тяги локомотиву, яка забезпечує і найбільшу масу потягу.

Такий методологічний підхід повсюдно реалізований для магістрального і промислового залізничного транспорту.

Використання в тягових розрахунках економічних складових, дозволило отримати [3] наступну залежність оптимальної ваги потягу :

$$Q = \sqrt{\frac{\left[2PL\left(W_0 + i_e\right)10^{-3} e_{ен} + \left(\frac{2L}{V} + \sum t_{ст}\right) e_{лг}\right] Г_c}{\left(C_м + C_п\right) m e_{вг}}}, \text{ т} \qquad (3)$$

де $e_{ен}$ - витратна ставка енергетичних витрат на 1 т-км механічної роботи локомотиву, грн./т-км;
$e_{лг}$ - приведена вартість 1 локомотиво-години, грн.;
$e_{вг}$ - приведена вартість 1 вагоно-години, грн.;
$C_м$, $C_п$ - коефіцієнт, що характеризує накопичення вагонів на магістральній і промисловій станції, відповідно;
V - швидкість руху потягу, км/год;

$\sum t_{ст}$ - сумарний час стоянки на станціях, год;

$Г_с$ - добовий вантажообіг, нетто, т.

m - кількість вагону в потягу, шт.

Постановка завдання. Представлені залежності не враховують великого числа чинників, які що регламентує цінову політику при взаєминах між наступними суб'єктами: «Укрзалізниця↔ППЗТ↔Клієнт», а саме:

- в залежностях (1,2) не враховані технологічні і економічні особливості роботи промислового залізничного транспорту;
- залежність (3) виведена відносно Q в неявній формі, оскільки $V=f(Q)$ і, відповідно, $W_0=f(Q)$;
- залежність (3) не адаптована до діючої на справжній момент законодавчої бази.

Відповідно до цього необхідно провести детальніший аналіз транспортного обслуговування промисловими підприємствами залізничного транспорту.

Обгрунтування наукових результатів. Витрати, пов'язані з перевезенням вантажів на промисловому залізничному транспорті можна умовно розділити на три категорії, а саме:

- витрати, пов'язані з використанням вагонів Укрзалізниці;
- витрати на перевезення вантажу;
- витрати за використання технічних засобів і роботу персоналу ППЗТ (рухомий склад, шлях, заробітна плата і тому подібне).

Таким чином, на підставі виділених пунктів витрат виробимо аналітичні викладення для визначення сукупних витрат перевізного процесу.

1. Витрати, пов'язані з використанням вагонів.

1.1. Приймально-здавальні і технологічні операції на станційних шляхах

$$З^{в}_{ст} = \left(t^{в}_{пз} + t_{тех}\right) n_{ваг} n_{ст} c_{вг} ,$$

де $t^{в}_{пз}$ - час, що витрачається на приймально-здавальні операції по станції для потягу, год;

$n_{ваг}$ - кількість вагонів в складі, шт.;

$t_{тех}$ - час, пов'язаний з технологічними операціями по станції (приготування маршруту, відкриття світлофора і тому подібне);

$n_{ст}$ - кількість станцій, по яких проходить потяг, шт.

1.2. Рух по перегону

$$З^{в}_{пер} = \left(\frac{1}{\bar{v}_{под}} + \frac{1}{\bar{v}_{вив}}\right) L n_{ваг} c_{вч} ,$$

де $\bar{v}_{под}$ - середня швидкість руху потягу при подачі вагонів до промислової станції, км/год;

$\bar{v}_{вив}$ - середня швидкість руху потягу при вивезенні вагонів з промислової станції, км/ч;

L - довжина ділянки шляху між станцією примикання залізниці і промисловою станцією, км.

1.3. Вантаження вагонів

$$З^{в}_{вант} = t^{в}_{вант} n_{ваг} c_{вг} ,$$

де $t^{в}_{вант}$ - середній час вантаження вагону, ч.

1.4. Маневрова робота на промисловій станції

$$З^{в}_{ман} = t^{в}_{ман} n_{ваг} c_{вч} ,$$

де $t^{в}_{ман}$ - середній час маневрової роботи для вагону, ч.

Сумарний час, який вагони знаходяться на під'їзних шляхах ППЖТ, визначається як:

$$t^{в}_{\Sigma} = \left(t^{в}_{пс} n_{ст} + t^{в}_{погр} + t^{в}_{ман}\right) n_{ваг} + t_{тех} n_{ст} + L\left(\frac{1}{\bar{v}_{под}} + \frac{1}{\bar{v}_{выв}}\right),$$

Слід зазначити, що на підставі [4] вартість плати за використання вантажних вагонів Укрзалізниці можна представити як

$$c_{вч} = a t^{в}_{\Sigma} + b ,$$

де коефіцієнти рівняння визначаються таким чином:

$$\begin{cases} a = 0,74;\ b = 0,05 \text{ при } 0 < t^{в}_{\Sigma} \le 4 \text{ год;} \\ a = 1,3;\ b = -2,2 \text{ при } 4 < t^{в}_{\Sigma} \le 24 \text{ год;} \\ a = 3,5;\ b = -55 \text{ при } 24 < t^{в}_{\Sigma} \le 36 \text{ год;} \\ a = 10;\ b = -289 \text{ при } 36 < t^{в}_{\Sigma} \le 40 \text{ год;} \\ a = 16;\ b = -529 \text{ при } 40 < t^{в}_{\Sigma} \text{ год;} \end{cases}$$

Таким чином, сукупні витрати по п. 1 за використання вантажних вагонів Укрзалізниці складуть:

$$З^{в} = \left(a t^{в}_{\Sigma} + b\right) \left\{ \begin{array}{l} \left(t^{в}_{пс} n_{ст} + t^{в}_{погр} + t^{в}_{ман}\right) n_{ваг} + \\ + t_{тех} n_{ст} + \left(\frac{1}{\bar{v}_{под}} + \frac{1}{\bar{v}_{выв}}\right) L n_{ваг} \end{array} \right\}. \quad (4)$$

2. Витрати, пов'язані з перевезенням вантажу у разі подачі і вивезенні навантажених вагонів

$$З^{п} = 2 L n_{ваг} m^{в}_{нт} c_{тк} , \quad (5)$$

де $m^{в}_{нт}$ - маса вагону нетто, т;

$c_{тк}$ - вартість перевезення тонно-кілометра вантажу, грн.

3. Витрати, пов'язані з експлуатацією локомотивів.

3.1. Стоянка на станціях при здійсненні приймально-здавальних операцій

$$З^{л}_{ст} = \left(t^{в}_{пс} n_{ваг} + t_{тех}\right) n_{ст} n_{л} c_{лг} ,$$

де $n_{л}$ - кількість локомотивів, що знаходяться в експлуатації, шт.

3.2. Рух по перегону

$$З^{л}_{пер} = \left(\frac{1}{\bar{v}_{под}} + \frac{1}{\bar{v}_{вив}} \right) L n_{л} c_{лг} .$$

3.3. Маневрова робота на промисловій станції

$$З^{л}_{ман} = t^{в}_{ман} n_{ваг} n_{л} c_{лг} ,$$

Таким чином, сукупні витрати пов'язані з експлуатацією локомотивів складуть:

$$З^{л} = \left[\left(t^{в}_{пс} n_{ваг} + t_{тех} \right) n_{ст} + \left(\frac{1}{\bar{v}_{под}} + \frac{1}{\bar{v}_{вив}} \right) L + t^{в}_{ман} n_{ваг} \right] n_{л} c_{лг} . \quad (6)$$

Як було відмічено раніше, швидкість руху потягу *v=f(Q)*, тому є необхідним визначити цю аналітичну залежність. На підставі [1], можна записати, що сила опору руху потягу складе:

$$F_{c} = P \left(w'_{0} + i_{e} \right) + Q \left(w''_{0} + i_{e} \right) , \quad (7)$$

де w'_{0}, w''_{0} - основний питомий опір руху локомотиву і вагону, кгс/т.

Якщо представити основний питомий опір руху локомотиву і вагону в наступному виді

$$w'_{0} = a' + b'v + c'v^{2} ; \quad w''_{0} = a'' + b''v + c''v^{2} ,$$

те залежність (7) після перетворень:

$$F_{c} = \left(Pc' + Qc'' \right) v^{2} + \left(Pb' + Qb'' \right) v + \\ + P \left(a' + i_{e} \right) + Q \left(a'' + i_{e} \right) \quad (8)$$

Оскільки для сталих режимів потягу сила опору руху дорівнює дотичній силі тяги локомотиву, то з метою аналітичного рішення поставленої задачі слід провести апроксимацію тягових характеристик локомотивів, яка в загальному функція може бути описана наступним рівнянням:

$$F_{k} = k / v . \quad (9)$$

Спільне рішення (8) і (9) дозволяє отримати наступне рівняння:

$$\left(Pc' + Qc'' \right) v^{3} + \left(Pb' + Qb'' \right) v^{2} + \\ + \left[P \left(a' + i_{e} \right) + Q \left(a'' + i_{e} \right) \right] v - k = 0 \quad (10)$$

Розкладемо ліву частину рівняння (10) в ряд Тейлора, обмежившись першими двома членами ряду, використовуючи лінеаризацію в околиці точки швидкості тривалого режиму тепловоза v_{p} :

$$\left[P \left(a' + i_{e} \right) + Q \left(a'' + i_{e} \right) \right] \left(v - v_{p} \right) - k = 0 . \quad (11)$$

Рішенням (11) є наступна залежність:

$$v = v_{p} + \frac{k}{P \left(a' + i_{e} \right) + n_{ваг} m^{в}_{бр} \left(a'' + i_{e} \right)}$$

де $m^{в}_{бр}$ - маса вагону брутто, т.

Якщо прийняти, що $A' = P \left(a' + i_{e} \right)$ і $A'' = m^{в}_{бр} \left(a'' + i_{e} \right)$, то

$$v = \frac{v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k}{A' + n_{ваг} A''} . \quad (12)$$

Слід зазначити, у своїй більшості промислові підприємства розташовуються на різних відмітках висот відносно станції примикання залізниці. Відповідно до цього, одна з середніх швидкостей руху потягу або при подачі $\bar{v}_{под}$, або при вивезенні $\bar{v}_{вив}$ вагонів (при русі з верхньої відмітки на нижню) визначатиметься технічним станом шляху, обмеженнями швидкості руху і тому подібне, що в залежностях (4) і (6) не буде пов'язано з масою потягу.

Підприємства вугільної промисловості Донбасу розташовуються по відмітках висот нижче, ніж станції примикання у зв'язку з цим вважатимемо $\bar{v}_{под}$ не залежними від маси потягу.

Оскільки сукупні витрати перевізного процесу визначаються як:

$$З = З^{в} + З^{п} + З^{л} ,$$

те їх мінімум по кількості вагонів визначатиметься на підставі наступного рівняння:

$$\frac{dЗ}{dn_{ваг}} = \frac{dЗ^{в}}{dn_{ваг}} + \frac{dЗ^{п}}{dn_{ваг}} + \frac{dЗ^{л}}{dn_{ваг}} = 0 . \quad (13)$$

З урахуванням виразів (4, 5, 6, 12) отримаємо:

$$\frac{dЗ}{dn_{ваг}} = \left\{ t^{в}_{пс} n_{ст} + t^{в}_{вант} + t^{в}_{ман} + \left(\frac{1}{\bar{v}_{под}} + \frac{A' + n_{ваг} A''}{v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k} \right) L - \left(\frac{v_{p} A'' \left(A' + n_{ваг} A'' \right)}{\left[v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k \right]^{2}} - \frac{A'' \left[v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k \right]}{\left[v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k \right]^{2}} \right) L n_{ваг} \right\} \times \\ \times \left(a t^{в}_{\Sigma} + b \right) + 2 L m^{в}_{нт} c_{тк} + \left\{ t^{в}_{пс} + t^{в}_{ман} - \left(\frac{v_{p} A'' \left(A' + n_{ваг} A'' \right)}{\left[v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k \right]^{2}} - \frac{A'' \left[v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k \right]}{\left[v_{p} \left(A' + n_{ваг} A'' \right) + k \right]^{2}} \right) L \right\} n_{л} c_{лг} = 0 \quad (14)$$

Таким чином, при рішенні (14), оптимальна вагова норма потягу :

$$Q^{opt} = m_{бр}^{в} \times \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{k}{A'' v_p} + A' v_p - \\ \left(kL \left[\begin{array}{l} \left(k + A' v_p\right)\left(a t_{\Sigma}^{в} + b\right) - \\ n_{л} c_{лг} A'' v_p \end{array} \right] \right)^{1/2} \times \\ \times \left[\begin{array}{l} \left(a t_{\Sigma}^{в} + b\right)\left(2L + v_p t^{в}\right) + \\ v_p \left(2L m_{гр}^{в} c_{тк} + n_{л} c_{лг} t^{л}\right) \end{array} \right]^{-1/2} \end{array} \right\}, \quad (15)$$

де $t^{в} = t_{пс}^{в} n_{ст} + t_{вант}^{в} + t_{ман}^{в}$ - сумарний час знаходження вагонів на станціях, ч;

$t^{л} = t_{пс}^{в} n_{ст} + t_{ман}^{в}$ - сумарний час знаходження локомотиву на станціях, ч;

Висновки. В результаті досліджень визначені технологічні операції подачі і прибирання вагонів від промислових підприємств на підставі яких виведені аналітичні залежності витрат перевізного процесу, а також вираження для визначення швидкості руху потягу від маси складу. На їх основі отримана залежність оптимальної ваги потягу, яка мінімізує витрати перевізного процесу.

Л і т е р а т у р а

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы. ВНИИЖТ МПС. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
2. Бабичков А.М. Тяга поездов и тяговые расчеты / А.М. Бабичков, П.А. Гурский, А.П. Новиков. – М.: Транспорт, 1971. – 280 с.
3. Баландюк Г.С., Балч В.И. Новое в технологии работы железнодорожного транспорта промышленных предприятий. М.: Изд-во МИИТа. – 1975. – 128 с.
4. Наказ Міністерства транспорту і зв'язку України від 26.03.2009 р. №317.

R e f e r e n c e s

1. Pravila tyagovyih raschetov dlya poezdnoy rabotyi. VNIIZhT MPS. – M.: Transport, 1985. – 287 s.
2. Babichkov A.M. Tyaga poezdov i tyagovyie raschetyi / A.M. Babichkov, P.A. Gurskiy, A.P. Novikov. – M.: Transport, 1971. – 280 s.
3. Balandyuk G.S., Balch V.I. Novoe v tehnologii rabotyi zheleznodorozhnogo transporta promyishlennyih predpriyatiy. M.: Izd-vo MIITa. – 1975. – 128 s.
4. Nakaz Ministerstva transportu i zv'yazku Ukrayini vid 26.03.2009 r. №317.

Кузьменко С.В., Кейс В.А., Литвищенко И.Б. Оптимизация весовых норм поездов для предприятий промышленного железнодорожного транспорта

Современный подход к определению весовых норм поездов основывается на максимизации производительности локомотива, что предполагает увеличение веса поезда при уменьшении скорости движения. Данная методика была разработана во второй половине XX века и не может учитывать современные экономические тенденции. Анализ технологического процесса предприятий промышленного железнодорожного транспорта, тяговых характеристик локомотивов, экономических составляющих перевозочного процесса позволил определить оптимальную весовую норму поездов, которая обеспечивает минимальные экономические затраты.

Ключевые слова: *тяговый расчет, весовая норма, тяговая характеристика, сопротивление движению, локомотив, вагон, поезд, затраты.*

Kuzmenko S.V., Kejs V., Lytvyschenko I. Optimization of gravimetric norms of trains for the enterprises of industrial railway transport

The modern approach to the determination of weighted norms of trains is based on maximizing the performance of the locomotive, which implies an increase in the weight of the train with decreasing speed. This methodology was developed in the second half of the twentieth century and can not take into account the current economic trends. The analyzes the process of industrial enterprises of railway transport, locomotive traction characteristics, the economic component of the transportation process allowed us to determine the optimal weight normal trains, which provides the minimum economic costs.

Keywords: *hauling calculation, gravimetric norm, hauling description, resistance to motion, locomotive, train,.*

Кузьменко С.В. – к.т.н., доцент кафедри транспортних систем СНУ ім. В. Даля.

Кейс В.А. – магістрант кафедри транспортних систем СНУ ім. В. Даля.

Литвищенко І.Б. – магістрант кафедри транспортних систем СНУ ім. В. Даля.

Рецензент: ***Чернецька-Білецька Н.Б.,*** д.т.н., проф.

Стаття подана 22.01.2015