

**КЕРУВАННЯ МОТОРВАГОННИМ РУХОМИМ СКЛАДОМ ЗА УМОВИ ВІДСТАВАННЯ ВІД ГРАФІКА РУХУ**

Канд. техн. наук Д.О. Кулагін

**УПРАВЛЕНИЕ МОТОРВАГОННЫМ ПОДВИЖНЫМ СОСТАВОМ ПРИ УСЛОВИИ ОТСТАВАНИЯ ОТ ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ**

Канд. техн. наук Д.А. Кулагин

**THE MANAGEMENT OF THE RAILCAR ROLLING STOCK, PROVIDED BEHIND THE SCHEDULE OF MOVEMENT**

Cand. of Science D.O. Kulagin

*В статті на основі загальної методики варіаційного числення виконано математичну постановку в загальному вигляді процесу керування моторвагонним рухомим складом залізниць у випадку відставання від графіка руху. Побудова системи автоведення рухомого складу на основі запропонованої математичної моделі дає змогу раціонально мінімізувати відставання від графіка руху з оптимальними витратами первинного енергоносія.*

**Ключові слова:** графік руху, керування, моторвагонний рухомий склад, маршрутна карта, система автоведення, оптимальні енерговитрати.

*В статье на основе общей методики вариационного исчисления выполнена математическая постановка в общем виде процесса управления моторвагонным подвижным составом железных дорог в случае отставания от графика движения. Построение системы автоведения подвижного состава на основе предложенной математической модели позволяет рациональным образом минимизировать отставание от графика движения с оптимальными затратами первичного энергоносителя.*

**Ключевые слова:** график движения, управление, моторвагонный подвижной состав, маршрутная карта, система автоведения, оптимальные энергозатраты.

*The task execution schedule is one of the priority, since the quality of its decisions ensure the safety of movement, more efficient use of rolling stock, freight and road capacity, enhancing customer service and has important economic and social importance. Therefore, the question of overcoming deviations from the schedule of movement with optimal energy consumption during this requires a precise mathematical definition. Depending on the circumstances - the variance of the true weights of the rolling stock of settlement, presence of a strong counter or side winds, road condition, failure running time outstrip, infringement of the schedule of suburban trains for boarding and disembarkation of passengers through the overcrowded trains by the issuance depo trains not full line and off-schedule cancellation of suburban trains, delay trains passed by the place of repair work on the stretch, and other factors, the possible deviation from the planned schedule. In consequence of this, it is necessary to carry out the adjustment values of the average velocity EMU-train to execute a defined timetable. In article on the basis of common methods of variational calculus, mathematical formulation of the General management process railcar rolling stock of Railways in the case backlog from the schedule. The build avtodriving system rolling stock on the basis of the proposed mathematical model allows rational way to minimize delays in the schedule of movement with optimal costs primary source of energy.*

**Keywords:** schedule management, railcar rolling stock, route map, avtodriving system, optimal energy consumption.

**Вступ.** У залежності від певних обставин розрахункового, наявності сильного – відхилення істинного значення ваги зустрічного або бокового вітру, стану колії, моторвагонного рухомого складу від недотримання часу ходу перегонном, порушення

розкладу приміських поїздів при посадці-висадці пасажирів через перенаселеність поїзда внаслідок видачі з депо поїздів неповним складом та позапланової відміни приміських поїздів, затримки проходження поїздів за місцем ремонтних робіт на перегоні та інших факторів, можливе відхилення від запланованого графіка руху. Внаслідок цього необхідно проводити корегування величини середньої швидкості руху моторвагонного поїзда для виконання встановленого графіка руху [1-5], що є актуальним завданням для залізничної галузі.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Оновлення та модернізація залізничного парку на основі сучасних наукових підходів є основою виконання завдань «Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки» (Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1390). При цьому в ній важливу увагу приділено питанню підвищення рівня реалізації технології перевізного процесу та якості роботи, основним показником якого є

виконання нормативних перевізних вимог та графіка руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню процесу оптимізації параметрів руху та управління процесом тяги при цьому присвячено багато робіт [6-10], що підтверджує актуальність даної тематики. Проте на сьогодні відсутня чітка математична послідовність визначення раціонального способу подолання відставання від графіка руху з оптимальними витратами енергоносіїв для цього процесу.

**Визначення мети та завдання дослідження.** Завданням даної статті є побудова раціонального алгоритму визначення способу керування тягою для забезпечення подолання відхилення від графіка руху з оптимальними витратами палива.

Метою є математичний опис процесу керування моторвагонним рухомим складом у випадку відхилення від графіка руху.

**Основна частина дослідження.** Розглянемо ділянку маршрутної карти руху моторвагонного рухомого складу від точки з координатами  $(t_2, S_2)$  до точки  $(t_2^*, S_2^*)$  (рис. 1).

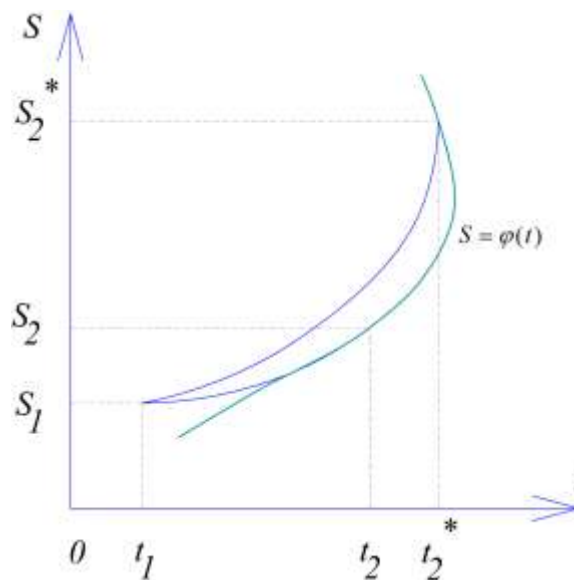


Рис. 1. Геометричне місце для переходу між межевими умовами при зміні верхньої межевої умови маршрутної карти руху поїзда

Розглянемо випадок, за якого система автоведення поїзда фіксує ще в процесі руху відставання від маршрутної карти руху та

змінюючи керування тяговою електропередачею здійснюється ліквідація відставання, тобто поїзд приїжджає в потрібний пункт

призначення на маршрутній карті з відхиленням за часом у межах  $\Delta t_2 = t_2 - t_2^*$ . Причому будемо вважати, що зміна керування тяговою електропередачею була оптимальною з огляду на об'єктивні умови руху, тобто подальша корекція керування не знадобилась і за даного керування тяговою електропередачею, тобто при підтримці його до моменту досягнення точки з координатою  $(t_2^*, S_2^*)$ , виконалось співвідношення  $S_2 = S_2^*$ .

Перше рівняння Ейлера-Лагранжа [11-15] для даного випадку можна записати таким чином:

$$\frac{S \cdot t'}{\sqrt{(t')^2 + (S')^2}} = D, \quad (1)$$

де  $D$  - значення параметра, за якого виконуються умови проходження екстремалі та геометричного місця межових умов руху поїзда через точку з координатою  $(t_2^*, S_2^*)$ .

Тоді друге рівняння Ейлера-Лагранжа [11-15] для даного випадку записане таким чином:

$$\frac{d}{dt} \frac{S \cdot S'}{\sqrt{(t')^2 + (S')^2}} - \sqrt{(t')^2 + (S')^2} = 0, \quad (2)$$

показує, що прямі типу  $S = const$  не можуть бути екстремалами.

Що стосується прямих типу  $t = const$ , то вони, вочевидь, можуть бути екстремалами.

Виконаємо підстановку

$$S \frac{dt}{dL} = 0, \quad (3)$$

де  $L$  - довжина дуги від точки з координатами  $(t_2, S_2)$  до точки  $(t_2^*, S_2^*)$ .

Інтегральними кривими, що відрізняються від прямих виду  $t = const$ , є ланцюгові лінії

$$S = D \cdot ch\left(\frac{t - B}{D}\right), \quad (4)$$

де  $B$  - константа інтегрування.

Перш за все перевіримо, чи можна через точки з координатами  $(t_2, S_2)$  та  $(t_2^*, S_2^*)$  провести криву сімейства (4). Фактично дане питання зводиться до вирішення питання про можливість розв'язання рівняння

$$D \cdot ch\left(\frac{1}{D}\right) = S_2 \quad (5)$$

відносно  $D$ .

Для вирішення останнього питання побудуємо графік виду

$$\varphi(D) = D \cdot ch\left(\frac{1}{D}\right) \quad (6)$$

для зони  $D > 0$ , що відповідає умовам нашої задачі.

Враховуючи, що

$$\varphi'(D) = ch\left(\frac{1}{D}\right) - \frac{1}{D} \cdot sh\left(\frac{1}{D}\right), \quad (7)$$

і відповідно

$$\varphi''(D) = \frac{1}{D^3} \cdot ch\left(\frac{1}{D}\right), \quad (8)$$

де справедливою є нерівність

$$\frac{1}{D^3} \cdot ch\left(\frac{1}{D}\right) > 0, \quad (9)$$

то графік напрямлено вгнутою частиною вгору (рис. 2).

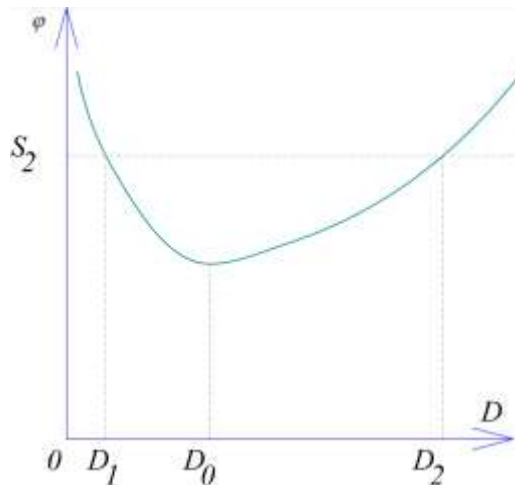


Рис. 2. Геометричне місце точок, що відповідають рівнянню  $\varphi(D) = D \cdot ch\left(\frac{1}{D}\right)$

Припустимо, що функція  $\varphi(D)$  має мінімум у точці  $D_0$ . Тоді  $D_0$  визначається як корінь рівняння [16]

$$\chi = th\left(\frac{1}{\chi}\right). \quad (10)$$

За (10) матимемо, що  $D_0 = 0,83355$ .

При цьому

$$\varphi(D_0) = \min \varphi(D) = \frac{D_0}{\sqrt{1-D_0^2}} = 1.5127. \quad (11)$$

У випадку, коли  $S_2 < \varphi(D_0)$ , екстремалей, що проходять через точки з координатами  $(t_2, S_2)$  та  $(t_2^*, S_2^*)$ , немає.

При  $S_2 = \varphi(D_0)$  існує одна екстремаль, що з'єднує точки з координатами  $(t_2, S_2)$  та  $(t_2^*, S_2^*)$ .

При  $S_2 > \varphi(D_0)$  таких екстремалей буде дві. У цьому випадку отримаємо два значення параметра  $D$ : меншому з них –  $D_1$  – буде відповідати більш низька ланцюгова лінія, а більшому з них –  $D_2$  – більш висока ланцюгова лінія.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.**

1. Таким чином, у ході проведеного дослідження виконано математичне визначення геометричного місця точок, що відповідають

екстремалі процесу керування моторвагонною одиницею рухомого складу для випадку відставання від графіка руху.

2. Використання математичного апарату теорії варіаційного числення для тягових задач дає змогу визначати раціональні способи керування з оптимальними енерговитратами з огляду на оптимальний розподіл функції керування тяговим процесом відповідно до основних задач варіаційного числення.

3. На основі запропонованих математичних співвідношень можлива подальша побудова системи автоведення для вказаної ситуації подолання відхилення від графіка руху.

4. Окремо потребують вирішення ситуації  $S_2 = \varphi(D_0)$  та  $S_2 > \varphi(D_0)$ , що становить інтерес для дослідження процесу оптимізації керування рухом моторвагонного поїзда.

### Список використаних джерел

1. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 05.04.2002 № 170-Ц.
2. Інструкція про порядок надання і використання вікон у графіку руху поїздів для ремонтних і будівельних робіт на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 13.03.2000 № 96-Ц.
3. Інструкція з оперативного планування поїзної і вантажної роботи на залізницях України, затверджена наказом Укрзалізниці від 15.12.2004 № 969-ЦЗ.
4. Інструкція з руху поїздів та маневрової роботи, затверджена наказом Міністерства транспорту України від 31.08.2005 № 507.
5. Інструкція з ведення графіка виконаного руху поїздів на залізницях і дирекціях залізничних перевезень, затверджена наказом Укрзалізниці від 17.12.2008 № 544-Ц.
6. Гетьман, Г.К. Научные основы определения рационального мощностного ряда тяговых средств железнодорожного транспорта [Текст]: монография / Г.К. Гетьман [Днепропетровский нац. ун-т ж.-д. трансп.]. – Днепропетровск: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.д. трансп., 2008. – 444 с.
7. Моделирование электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом [Текст] / Е.М. Плохов, Ю.А. Бахвалов, А.А. Зарифьян, В.П. Кашников. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
8. Логвінова, Н.О. Зменшення експлуатаційних витрат за допомогою енергооптимального руху поїздів [Текст] / Н.О. Логвінова, Д.О. Босий, О.М. Полях // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 42. – С. 110-113.
9. Гетьман, Г.К. Теория электрической тяги [Текст]: монография; в 2 т. / Г.К. Гетьман. – Днепропетровск: Изд-во Маковецкий, 2011. – Т. 2. – 363 с.
10. Петров, Ю.П. Оптимальное управление движением транспортных средств [Текст] / Ю.П. Петров. – Л.: Энергия, 1969. – 96 с. – Библиотека по автоматике; вып. 373.
11. Методы классической и современной теории управления [Текст]. В 5 т. Т. 4. Теория оптимизации систем автоматического управления / [под ред. Н.Д. Егунова, К.А.Пупкова]. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. – 744 с.
12. Gelfand I. M. Calculus of Variations [Текст] / I. M. Gelfand, Izrail Moiseevitch Gelfand, S. V. Fomin. – Courier Dover Publications, 2000 – 232 P.
13. Cassel Kevin W. Variational Methods with Applications in Science and Engineering [Текст] / Cassel Kevin W. – Cambridge University Press, 2013. – 432 P.
14. Lebedev L. P. The Calculus of Variations and Functional Analysis with Optimal Control and Applications in Mechanics [Текст] / Lebedev L. P., Cloud M. J. – World Scientific, 2003. – 436 P.
15. Logan J. David. Applied Mathematics [Текст] / Logan J. David. – 3rd Ed. – Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2006. – 546 P.
16. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор П.Д. Андрієнко

---

Кулагін Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент, докторант, кафедра електропостачання промислових підприємств Запорізького національного технічного університету. Тел.: (061) 769-82-81.  
E-mail: nemix123@rambler.ru.

Kulagin Dmitro Oleksandrovich, Candidate of Science (Engineering), PhD student, associate Professor, Senior Lecturer of the Department «Electrosupply of the industrial enterprises of Zaporozhye national technical University. Tel.: (061) 769-82-81. E-mail: nemix123@rambler.ru.