

УДК 62-52:629.423.2

КУЛАГІН Д.О., к.т.н., доцент (Запорізький національний технічний університет)

Алгоритм роботи інформаційно-керуючої системи рухом моторвагонного рухомого складу за умови відставання від графіка руху

Робота присвячена математичному описанню окремої науково-практичної задачі визначення математичних співвідношень для побудови алгоритму керування тяговим процесом моторвагонного рухомого складу на основі теорії варіаційного числення. Метою роботи є математична постановка алгоритму процесу керування моторвагонним поїздом для раціонального подолання відхилення від графіка руху. В результаті проведеного дослідження отримано співвідношення для геометричного місця точок, що відповідають екстремалі процесу керування за маршрутною картою руху, на основі якої можливе забезпечення раціонального споживання паливних ресурсів під час подолання відхилення від графіка руху.

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

Вступ

На показники виконання графіка руху моторвагонного поїзда впливає велика кількість зовнішніх факторів - відхилення істинної ваги від розрахункового, погодні умови, стан залізничної колії, недотримання часу ходу перегonom, збільшення часу посадки-висадки пасажирів, затримка проходження поїздів за місцем ремонтних робіт на перегоні.

Проте, графік руху поїздів є основним нормативно-технологічним документом, що регламентує роботу всіх підрозділів залізничного транспорту з організації руху поїздів і визначає технологію експлуатаційної діяльності всієї мережі залізниць. Тому рівень виконання графіка відображає ступінь реалізації технології перевізного процесу та якості роботи, забезпечує безпеку руху, оптимальне використання рухомого складу, збільшення провізної і пропускної спроможності доріг, поліпшення обслуговування пасажирів і має важливе економічне значення.

В наслідок цього у разі відхилення від графіка руху необхідно проводити корегування показників руху поїзда для входження поїзда до встановленого графіка руху [1-5]. З огляду на приведені аргументи дослідження систем керування тягою для забезпечення подолання відхилення від графіка руху є актуальною науково-практичною задачею.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями

Відповідно до Державної програми «Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства», що введена в дію Постановою Кабінету Міністрів України від 2 червня 1998 р. № 769 та Постанови Кабінету міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р «Про схвалення Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту» побудова інформаційно-керуючих систем для приміського транспорту на основі накопиченого досвіду експлуатації вітчизняних тягових одиниць моторвагонного транспорту та досвіду і наукових розробок українських вчених є однією з основних задач, вирішення яких вносить вклад у реалізацію мети та завдань програм розвитку та реформування залізничного транспорту і, таким чином, дозволяють зменшити імпорту залежність України від постачання тягових агрегатів та поїздів з країн Європи та СНД, а також створюють перспективи для експорту вітчизняних розробок до інших країн світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням побудови керуючих систем для приміського рухомого складу займається багато вчених [6-11], що підтверджує актуальність даної задачі. Кожна окрема наукова робота вирішує важливу обмежену науково-технічну задачу, залишаючи по собі інші нерозв'язані питання. Це пояснюється тим, що питання побудови керуючих систем для тягових одиниць рухомого складу для досягнення оптимальності певного критерію може вирішуватись на основі критеріїв максимуму провізної здатності,

мінімуму часу ходу та витрат первинного енергоносія на тягу, мінімуму собівартості перевезень, максимуму роботи, що її виконує моторвагонний поїзд та багатьох інших критеріїв. Таким чином вказана задача є багатокритеріальною [12, 13]. В задачах багатокритеріальної оптимізації при числі показників два та більше суттєво ускладнюється процедура алгоритмізації рішення, аналізу та відповідна послідовна інтерпретація отриманих результатів. Тому серед відомих показників ефективності перевізного процесу, на основі якого будують керуючу підсистему, обирають головний, всі послідовні дії та параметри задачі підчиняючи відповідно його вимогам. Інші критерії відбору рішень, як правило, не співпадають з головним критерієм і мають назву локальних. В наслідок цього окремі питання побудови таких підсистем залишаються невирішеними і потребують окремого пояснення. Так на сьогодні відсутня чітка математична алгоритмізація визначення раціонального способу керування тяговим процесом для подолання відставання від графіка руху.

Визначення мети та задачі дослідження

Мета роботи – математична постановка алгоритму процесу керування моторвагонним поїздом для раціонального подолання відхилення від графіка руху.

Основна частина дослідження

Проведемо дослідження функції $S = \varphi(t)$, яка є геометричним місцем точок, що відповідають екстремалі верхньої межевої умови маршрутної карти руху моторвагонного поїзда. При цьому положимо, що точка D_0 є точкою мінімуму для даної функції. Розглянемо ділянку маршрутної карти руху моторвагонного рухомого складу від точки з координатами (t_2, S_2) до точки (t_2^*, S_2^*) . Нехай система автоведення поїзда фіксує ще в процесі руху відставання від маршрутної карти руху та зміною керування тяговою електропередачею здійснюється ліквідація відставання, тобто поїзд приїжджає в потрібний пункт призначення на маршрутній карті з відхиленням за часом в 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 $S_2 = \varphi(D_0)$.

Розглянемо більш загальний випадок $S_2 > \varphi(D_0)$. Визначимо чи виконується для цього випадку умова Якобі, оскільки умову Вейерштрасса для даного

випадку можна не перевіряти [14-17], оскільки функція Вейерштрасса є додатною для будь-яких значень, що лежать на даних екстремаліях.

Лінійно-незалежні рівняння Якобі [14-17] для функції виду $S = D \cdot ch\left(\frac{t-B}{D}\right)$, де B - константа інтегрування, а D - значення параметру, за якого виконуються умови проходження екстремалі та геометричного місця межових умов руху поїзда через точку з координатою (t_2^*, S_2^*) ; мають наступний вигляд:

$$u_1 = sh\left(\frac{t}{D}\right); \tag{1}$$

$$u_2 = ch\left(\frac{t}{D}\right) - \frac{t}{D} \cdot sh\left(\frac{t}{D}\right). \tag{2}$$

Відповідно до умови Якобі [15] необхідно дослідити функцію $\Delta(t; -1)$, яка в даному випадку буде мати наступний вигляд:

$$\Delta(t; -1) = \left[ch\left(\frac{t}{D}\right) - \frac{t}{D} \cdot sh\left(\frac{t}{D}\right) \right] \cdot sh\left(\frac{1}{D}\right) + \left[ch\left(\frac{1}{D}\right) - \frac{1}{D} \cdot sh\left(\frac{1}{D}\right) \right] \cdot sh\left(\frac{t}{D}\right). \tag{3}$$

Оскільки за змістом задачі точка з координатами $t = 0$ не може бути коренем функції (3) – вона взагалі не входить до області можливих рішень поставленої задачі через те, що це буде означати миттєве переміщення поїзда з однієї точки в іншу за нульовий проміжок часу, то тоді достатньо замість функції $\Delta(t; -1)$ розглянути функцію

$$z(t) = \frac{\Delta(t; -1)}{sh\left(\frac{t}{D}\right) \cdot sh\left(\frac{1}{D}\right)}. \tag{4}$$

Тоді на основі виразу (3) матимемо наступне:

$$z(t) = \left(ch\left(\frac{t}{D}\right) - \frac{t}{D} \right) + \left(ch\left(\frac{1}{D}\right) - \frac{1}{D} \right). \tag{5}$$

Знайдемо похідну даної функції

$$z'(t) = -\frac{1}{D} \cdot \frac{1}{sh^2\left(\frac{t}{D}\right)} - \frac{1}{D}. \tag{6}$$

Очевидно, що при будь-яких змінних t , що задовольняють умовам задачі, вірною є нерівність

$$-\frac{1}{D} \cdot \frac{1}{\operatorname{sh}^2\left(\frac{t}{D}\right)} - \frac{1}{D} < 0, \quad (7)$$

що дає змогу стверджувати про спадний характер функції $z(t)$.

Для оцінки поведінки функції в залежності від значень D знайдемо $z(1)$. Після аналітичних перетворень маємо

$$z(1) = \frac{2}{\operatorname{sh}\left(\frac{1}{D}\right)} \cdot \left(\operatorname{ch}\left(\frac{1}{D}\right) - \frac{1}{D} \cdot \operatorname{sh}\left(\frac{1}{D}\right) \right), \quad (8)$$

або після аналітичних перетворень

$$z(1) = \frac{2}{\operatorname{sh}\left(\frac{1}{D}\right)} \cdot \varphi'(D), \quad (9)$$

так що виконуються наступні умови:

$$z(1) \begin{cases} < 0, \text{ якщо } D = D_1; \\ > 0, \text{ якщо } D = D_2. \end{cases} \quad (10)$$

Тоді для першого випадку в системі (10) графік функції $z(t)$ матиме вигляд, зображений на рис. 1.

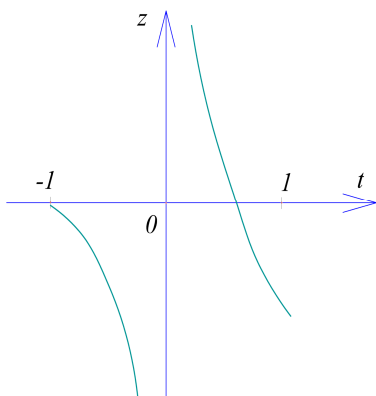


Рис. 1. Геометричне місце точок функції $z(t)$, що відповідають умові $D = D_1$

Для другого випадку в системі (10) графік функції $z(t)$ матиме вигляд, зображений на рис. 2.

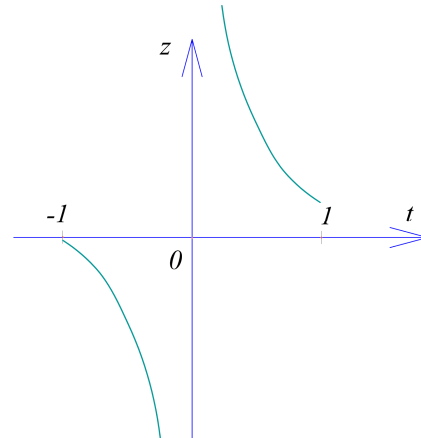


Рис. 2. Геометричне місце точок функції $z(t)$, що відповідають умові $D = D_2$

Згідно з рис. 1 та рис. 2 для нижньої цепної лінії, при $D = D_1$, умова Якобі не виконується, тобто дана цепна лінія не дає мінімуму. Проте для верхньої цепної лінії, при $D = D_2$, умова Якобі виконується, тобто дана цепна лінія дає сильний мінімум.

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку

1. Таким чином, використання верхньої цепної лінії при $D = D_2$ дає можливість мінімізувати витрати палива при подоланні відставання від графіка руху і, відповідно, є найбільш раціональним рішенням даної задачі.

2. На основі запропонованих математичних співвідношень можлива подальша побудова керуючої підсистеми для задачі подолання відхилення від графіка руху.

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 : монография [Текст] / Г.К. Гетьман. – Днепропетровский нац. ун-т ж.-д. трансп. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп., 2008. – 444 С.
7. Плохов Е.М. Моделирование электро-механической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом [Текст] / Плохов Е. М., Бахвалов Ю.А., Зарифьян А.А., Кашников В.П. – 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 залізн. трансп. ім. академіка В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 42. – С. 110-113.
9. Гетьман Г.К. Теория электрической тяги : монография : в 2 т. [Текст] / Г. К. Гетьман – Д. : Издательство Маковецкий, 2011. – Т. 2. – 363 С.
10. Петров Ю.П. Оптимальное управление движением транспортных средств. Библиотека по автоматике, выпуск 373 [Текст] / Ю. П. Петров. – Л.: Энергия, 1969. – 96 С.
11. Носков В. И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов [Текст] / Носков В. И., Дмитренко В.Д., Заполковский Н.И., Леонов С.Ю. – Х. : ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 С.
12. Босов А. А. Функции множества и их применение [Текст] / А. А. Босов. – Днепродзержинск : Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 С.
13. Осипов С. И. Основы тяги поездов [Текст] / Осипов С. И., Осипов С. С. – М. : УМК МПС России, 2000. – 592 С.
14. Gelfand I. M. Calculus of Variations [Текст] / I. M. Gelfand, Izrail Moiseevitch Gelfand, S. V. Fomin. – Courier Dover Publications, 2000 – 232 P.
15. Cassel Kevin W. Variational Methods with Applications in Science and Engineering [Текст] / Cassel Kevin W. – Cambridge University Press, 2013. – 432 P.
16. 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.
17. Logan J. David. Applied Mathematics [Текст] / Logan J. David. – 3rd Ed. – Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2006. – 546 P.

Кулагин Д.А. Алгоритм работы информационно - управляющей системы движением моторвагонного подвижного состава при условии отставания от графика движения. Работа посвящена математическому описанию отдельной научно - практической задачи определения математических соотношений для построения алгоритма управления тяговым процессом моторвагонного подвижного состава на основе теории вариационного исчисления. Целью работы является математическая постановка алгоритма процесса управления моторвагонным

поездом для рационального преодоления отклонения от графика движения. В результате проведенного исследования получены соотношения для геометрического места точек, соответствующих экстремалам процесса управления вдоль маршрутной карты движения, на основе которой возможно обеспечение рационального потребления топливных ресурсов во время преодоления отклонения от графика движения.

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

Kulagin D.O. The operation algorithm of information and control system of multiple unit movement provided there is lag in train diagram. The work is devoted to the mathematical description of a particular scientific and practical problem of determining mathematical relations to construct a control algorithm for multiple unit traction process based on the theory of variational calculus. Train diagram is a major regulatory and technological document regulating the work of all departments of rail transport in the movement of trains and determines the operational technology of the entire railway network. Therefore, the level of graphics performance reflects the extent to which technology of the transportation process and the quality of work, ensures safety, optimum utilization of rolling stock, increasing carrying capacity and roads, improving passenger service and is of great economic importance. As a consequence, in case of deviation from the timetable it is necessary to carry out adjustment parameters of the train to insert the train to the set timetable. Given the above reasoning, the study of the traction control to overcome the deviation from the schedule is the actual scientific and practical problem. The aim of the work is mathematical arrangement of the multiple unit control process algorithm to overcome deviations from the train diagram efficiently. The ratios received for geometric locus corresponding to the operation process extremals along the traffic map have been obtained as a result of the study. The above mentioned traffic map can ensure the efficient use of fuel resources while overcoming the deviation from the train diagram.

Key words: train diagram, extremal, control, multiple unit, traffic map, automatic train operation system, optimum energy consumption.

Рецензент д.т.н., професор, академік Транспортної академії України Андрієнко П.Д. (Запорізький національний технічний університет)

Поступила 28.03.2014г.