

Кулагін Д.О.

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАКОНУ КЕРУВАННЯ МОТОРВАГОННИМ ПОЇЗДОМ В СКЛАДНИХ УМОВАХ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Робота присвячена математичному описанню науково-практичної задачі визначення математичних співвідношень для побудови алгоритму керування тяговим процесом моторвагонного рухомого складу на основі теорії варіаційного числення в складних, різко змінних умовах навколишнього середовища (сильний вітер, заметіль, ожеледь на рейках, тощо) – в яких використання стандартних законів керування може призвести до відхилення від графіка руху. Метою роботи є математична постановка процесу керування моторвагонним поїздом для раціонального подолання відхилення від графіка руху в різко змінних складних навколишніх умовах. 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, моторвагонний поїзд, оптимальне керування, алгоритм, паливна економія, варіаційне числення.

Вступ. На показники руху моторвагонного поїзда впливає велика кількість зовнішніх факторів - відхилення істинної ваги від розрахункового, погодні умови, стан залізничної колії, недотримання часу ходу перегонном, збільшення часу посадки-висадки пасажирів, затримка проходження поїздів за місцем ремонтних робіт на перегоні. При цьому особливу складність являє ситуація різко змінних складних навколишніх умов, в яких обраний тип та стиль керування потребує повсякчасної зміни для виконання графіка руху. В таких умовах 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 задачею.

Задачам побудови керуючих систем для рухомого складу залізниць присвячено багато сучасних робіт [6-11], що підтверджує актуальність даного дослідження. Проте, 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], де при числі показників два та більше суттєво ускладнюється процедура алгоритмізації рішення, аналізу та відповідна послідуоча інтерпретація отриманих результатів. Тому серед відомих показників ефективності перевізного процесу, на основі якого будують керуючу підсистему, обирають головний, всі послідуочі 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.

Метою роботи є математична постановка процесу керування моторвагонним поїздом для раціонального подолання відхилення від графіка руху в різко змінних складних навколишніх умовах.

Викладення основного матеріалу. Проведемо дослідження функції $S = \varphi(t)$, яка є геометричним місцем точок, що відповідають екстремалі верхньої межової 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^*) . Розглянемо випадок, коли $S_2 < \varphi(D_0)$. Як було зазначено екстремалей, що проходять через точки з координатами (t_2, S_2) та (t_2^*, S_2^*) немає.

Положимо, що для координат точок маршрутної карти M_2 з координатою (t_2, S_2) та M_2^* з координатою (t_2^*, S_2^*) вірним є наступне: $t_2 \neq t_2^*$ та $S_2 \neq S_2^*$. Фактично це означає, що система автоведення поїзда фіксує ще в процесі руху відставання від маршрутної карти руху, проте зміна керування тяговою електропередачею не дозволяє ліквідувати відставання від графіка через різко змінні умови навколишнього середовища (посилення вітру, сніжні заметілі, раптові зупинки на перегонах та інше). Тобто будемо вважати, що зміна керування тяговою електропередачею не була оптимальною з огляду на об'єктивні умови руху, тобто подальша корекція керування є потрібною, бо за даного керування тяговою електропередачею відставання за часом від графіка руху є значним і його можна мінімізувати.

Тоді вказані точки маршрутної карти руху буде з'єднувати певна геометрична лінія, яка складатиметься з відрізків ланцюгових ліній та прямих ліній виду $t = const$. Проте така лінія не буде задовольняти умовам Вейерштрасса-Ердмана [14-17].

Для побудови лінії, що не задовольняє умові Вейерштрасса-Ердмана і в цілому не є екстремаллю в умовах задачі на мінімізацію поверхні, що утворюється при обертанні такої лінії навколо певної осі координатної системи задачі, за дослідженнями [15] необхідно використовувати ламану, що складається з екстремалей та частини границі області, тобто осьової лінії вказаної поверхні – в нашому випадку це буде вісь $0t$.

В якості екстремалей для побудови такої ламаної візьмемо відрізки прямих $t = t_2$ та $t = t_2^*$ (рис. 1).

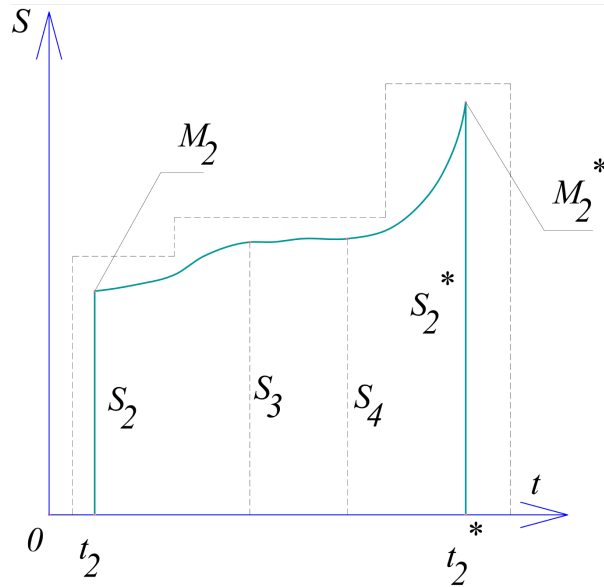


Рис. 1. Ламана лінія, що з'єднує точки маршрутної карти руху поїзда для випадку $S_2 < \varphi(D_0)$

При обертанні дана ламана дає два кола, що з'єднані відрізком осі $0t$. Доведемо, що такий характер зміни керування тяговою електропередачею дає сильний мінімум.

Будь-яка крива L , що з'єднує точки M_2 та M_2^* , яка лежить в сильному околі ламаної $M_2 t_2 t_2^* M_2^*$ має довжину, що є більша, ніж

$$\cup(M_2 t_2) + \cup(t_2^* M_2^*) = S_2 + S_2^*.$$

Нехай координати S_3 та S_4 такі, що

$$\cup(M_2 S_3) = \cup(M_2 t_2),$$

а також

$$\cup(S_4 M_2^*) = \cup(t_2^* M_2^*).$$

Тоді з двох точок на $\cup(t_2 M_2)$ та $\cup(S_3 M_2)$, відстані яких від точки M_2 , виміряні відповідно вздовж $\cup(t_2 M_2)$ та $\cup(S_3 M_2)$, є однаковими, друга буде вище на маршрутній карті руху. Тому справедливим є

$$\int_{\cup(t_2 M_2)} S dl < \int_{\cup(S_3 M_2)} S dl,$$

також аналогічно

$$\int_{\cup(t_2^* M_2^*)} S dl < \int_{\cup(S_4 M_2^*)} S dl.$$

Тоді робимо висновок, що

$$\int_L S dl > \int_{(M_2 t_2^* M_2^*)} S dl ,$$

що і треба було довести.

Тобто можна зробити висновок, що при

$$S_2 + S_2^* < l ,$$

де l - відстань між точками M_2 та M_2^* , ламана $M_2 t_2^* M_2^*$ дає абсолютний мінімум.

Результати дослідження. Таким чином реалізація закону керування моторвагонною одиницею тягового рухомого складу залізниць на основі проведеного математичного описання науково-практичної задачі визначення математичних співвідношень для побудови алгоритму керування тяговим процесом на основі теорії варіаційного числення в складних, різко змінних умовах навколишнього середовища в яких використання стандартних законів керування може призвести до відхилення від графіка руху дозволяє виконати забезпечення раціонального споживання паливних ресурсів під час подолання відхилення від графіка руху та оптимальним чином вирівняти входження до графіка руху.

Висновки. 1. Таким чином використання в якості параметра керування функції $S = \varphi(t)$, яка є геометричним місцем точок, що відповідають екстремалі верхньої межевої умови маршрутною карти руху моторвагонного поїзда на ділянці маршрутною карти руху від точки з координатами (t_2, S_2) до точки (t_2^*, S_2^*) у випадку, коли $S_2 < \varphi(D_0)$ дає можливість мінімізувати витрати палива при подоланні відставання від графіка руху і, відповідно, є найбільш раціональним рішенням даної задачі.

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

3. Використання теорії варіаційного числення для задач оптимізації тягових розрахунків та виведення раціональних законів керування тяговим процесом дозволяє отримати оптимальні співвідношення для інформаційно-керуючих систем тягового рухомого складу.

Л і т е р а т у р а

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 / 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 электромеханической системы электровоза с асинхронным тяговым приводом / 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 / Н. О. Логвінова, Д. О. Босий, О. М. Полях // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – Вип. 42. – С. 110-113.
9. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги : монография : в 2 т. / Г. К. Гетьман – Д. : Изд-во Маковецкий, 2011. – Т. 2. – 363 С.
10. Петров Ю. П. Оптимальное управление движением транспортных средств. Библиотека по автоматике выпуск 373 / Ю. П. Петров. – Л. : Энергия, 1969. – 96 С.
11. Носков В. И. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / Носков В. И., Дмитренко В. Д., Заполовский Н. И., Леонов С. Ю. – Х. : ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 С.
12. Босов А. А. Функции множества и их применение / А. А. Босов. – Днепродзержинск : Изд. дом «Андрей», 2007. – 182 С.
13. Осипов С. И. Основы тяги поездов / Осипов С. И., Осипов С. С. – М. : УМК МПС России, 2000. – 592 С.
14. Gelfand I. M. Calculus of Variations / 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 / 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 / Lebedev L. P., Cloud M. J. – World Scientific, 2003. – 436 P.
17. Logan J. David. Applied Mathematics / Logan J. David. – 3rd Ed. – Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2006. – 546 P.

References

1. Instrukcija zi skladannja grafika ruhu poizdiv na zaliznicjah Ukraini, zatverdzhena nakazom Ukrzaliznici vid 05.04.2002 № 170-C.
2. Instrukcija pro porjadok nadannja i vikoristannja vikon u grafiku ruhu poizdiv dlja remontnih i budivel'nih robot na zaliznicjah Ukraini, zatverdzhena nakazom Ukrzaliznici vid 13.03.2000 № 96-C.
3. Instrukcija z operativnogo planuvannja pojiznoji i vantazhnoji roboti na zaliznicjah Ukraini, zatverdzhena nakazom Ukrzaliznici vid 15.12.2004 № 969-CZ.
4. Instrukcija z ruhu poizdiv ta manevrovoji roboti, zatverdzhena nakazom Ministerstva transportu Ukraini vid 31.08.2005 № 507.
5. Instrukcija z vedennja grafika vikonanogo ruhu poizdiv na zaliznicjah i direkcijah zaliznichnih perevezen', zatverdzhena nakazom Ukrzaliznici vid 17.12.2008 № 544-C.
6. Get'man G. K. Nauchnye osnovy opredelenija racional'nogo moshhnostnogo rjada t'jagovyh sredstv zheleznodorozhnogo transporta : monografija / G. K. Get'man. – Dnepropetrovskij nac. un-t zh.-d. transp. – D. : Vid-vo Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp., 2008. – 444 S.
7. Plohov E. M. Modelirovanie jelektromechanicheskoi sistemy jelektrovoza s asinhronnym t'jagovym privodom / Plohov E. M., Bahvalov Ju. A., Zarif'jan A. A., Kashnikov V. P. – M. : Transport. – 2001. – 286 S.
8. Logvinova N. O. Zmshennja ekspluatacijnih vitrat za dopomogoj energooptimal'nogo ruhu poizdiv / N. O. Logvinova, D. O. Bosij, O. M. Poljah // Visn. Dnipropetr. nac. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazarjana. – 2012. – Vip. 42. – S. 110-113.
9. Get'man G. K. Teorija jelektricheskoi t'jagi : monografija : v 2 t. / G. K. Get'man – D. : Izd-vo Makoveckij, 2011. – T. 2. – 363 S.
10. Petrov Ju. P. Optimal'noe upravlenie dvizheniem transportnyh sredstv. Biblioteka po avtomatike vypusk 373 / Ju. P. Petrov. – L. : Jenergija, 1969. – 96 S.
11. Noskov V. I. Modelirovanie i optimizacija sistem upravlenija i kontrolja lokomotivov / Noskov V. I., Dmitrenko V. D., Zapolovskij N. I., Leonov S. Ju. – H. : HFI «Transport Ukrainy», 2003. – 248 S.
12. Bosov A. A. Funkcii mnozhestva i ih primenenie / A. A. Bosov. – Dneprodzerzhinsk : Izd. dom «Andrej», 2007. – 182 S.
13. Osipov S. I. Osnovy t'jagi poezdov / Osipov S. I., Osipov S. S. – M. : UMK MPS Rossii, 2000. – 592 S.
14. Gelfand I. M. Calculus of Variations / 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 / 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 / Lebedev L. P., Cloud M. J. – World Scientific, 2003. – 436 P.
17. Logan J. David. Applied Mathematics / Logan J. David. – 3rd Ed. – Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, 2006. – 546 P.

Кулагин Д.А. Особенности реализации закона управления моторвагонным поездом в сложных условиях окружающей среды

Работа посвящена математическому описанию научно-практической задачи определения математических соотношений для построения алгоритма управления тяговым процессом моторвагонного подвижного состава на основе теории вариационного исчисления в сложных, резко переменных условиях окружающей среды (сильный ветер, метель, гололедица на рельсах, и т.п.) – в которых использования стандартных законов управления может привести к отклонению от графика движения. Целью работы является математическая постановка процесса управления моторвагонным поездом для рационального преодоления отклонения от графика движения в резко переменных сложных окружающих условиях. В результате проведенного исследования получены соотношения для геометрического места точек, которые отвечают экстремали 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, моторвагонный поезд, оптимальное управление, алгоритм, топливная экономия, вариационное исчисление.

Kulagin D.O. Especially the implementation of the control law emu-train in complex environments

On parameters of movement of EMU-train is influenced by a number of external factors - reject the true weight gain from settlement, weather conditions, the condition of the railway track, the failure to observe the operating time outstrip the increase in time of boarding and disembarking of passengers, delayed passage of trains on the place of repair work on the stretch. Thus it is particularly difficult situation drastically variables of complex environmental conditions, in which the chosen type and style of management requires a permanent change to the schedule of movement. In such circumstances it is necessary to carry out adjustment of the rates of movement of a train for entry trains to the established timetable. Taking into account the above arguments, the study of control systems of traction to provide overcome the deviations from the schedule of movement is an urgent task. The work is devoted to the mathematical description of scientific and practical problems of determination of the mathematical relations for constructing the algorithm traction control process rolling stock based on the theory of variational calculus in a complex, rapidly changing environment conditions (strong wind, snowstorm, ice covering on the rails, etc.) - in which the use of standard control laws can lead to a deviation from the schedule. The aim of this work is the mathematical statement of the management process EMU-train for rational overcome the deviations from the schedule of movement in sharply variables harsh environments. In the result of the study the correlations for the geometric space of points corresponding to extreme process control on the route map of the movement, on the basis of which it is possible to ensure the rational consumption of fuel resources while overcoming the deviations from the schedule.

Keywords: schedule, EMU-train, optimal control, algorithm, fuel savings, the calculus of variations.

Кулагін Дмитро Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, докторант, Запорізький національний технічний університет (ЗНТУ), доцент кафедри «Електропостачання промислових підприємств» ЗНТУ, м. Запоріжжя, Україна, nemix123@rambler.ru