

Для змістовної постановки задач на етапі експлуатації технічних засобів виділяємо «малий» життєвий цикл, який включає поетапно процеси використання технічних засобів за призначенням, підготовка виробництва по забезпеченню необхідного рівня роботоздатності. А саме це процеси – діагностування, технічного обслуговування та ремонту. Управління проектами життєвого циклу вимагає необхідного вирішення множини наукових, технічних, технологічних, організаційно-економічних, соціальних, правових та інших задач [4]. А проблема їхньої реалізації вимагає принципово нових підходів системного управління програмами та системою.

Процеси, що забезпечують системні властивості технічних засобів в процесі експлуатації визначаються цілями, які формуються з урахування зв'язків із зовнішнім середовищем.

Практично всі параметри системних цілей є відображенням виробничо-технологічних процесів, які виконуються при експлуатації технічних засобів. Параметри техніко-економічних та екологічних цілей, на якому б рівні вони не приймалися, можуть бути реалізовані тільки шляхом їх втілення у відповідних технологічних процесах на залізничному транспорті [5].

Саме за допомогою системного підходу формується критерій стратегій забезпечення експлуатаційної надійності технічних засобів на основі максимізації рівня надійності, мінімізації експлуатаційних витрат та шкідливого впливу на навколишнє середовище. На основі оптимальних системних критеріїв для забезпечення системи управління проектами в процесі експлуатації технічних засобів формується множина задач у вигляді конструктивних рішень.

[1] Левковець П.Р., Гедзь Ю.М., Канарчук О.В. (2003). Системна ефективність на транспорті. Методи, моделі і стратегії. 216 с.

[2] Kulbovskiy, I., Bakalinsky, O., Sorochynska, O., Kharuta, V., Holub, H., & Skok, P. (2019). Implementation of innovative technology for evaluating high-speed rail passenger transportation. EUREKA: Physics And Engineering, 0(6), 63-72.

[3] Suchetha, C., Ramprabhakar, J. (2018). Optimization Techniques for Operation and Control of Microgrids – Review. Journal of Green Engineering, 8 (4), 621–644.

[4] Kulbovskiy, I., Saprionova, S., Holub, H., Tkachenko, V., Musorina, M. (2019). Modeling of Management Strategies for Manufacturing Technological Processes in Metro Power Supply Projects. Proceedings of the International Conference Transbaltica 2019: Transportation science and technology», (May 2–3, Vilnius.), p 211-219.

[5] Kulbovskiy, I., Holub, H., Skliarenko, I., Bambura, O., Soloviova, O. (2019). Development of a system model for the functioning of distribution electrical supply systems in transport infrastructure projects. Technology Audit and production reserves. 4/2 (48), 24-28.

УДК 629.42,519.926

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЛІНІЙНОГО ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ З КУСКОВО-НЕПЕРЕРВНИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ У ТЯГОВИХ РОЗРАХУНКАХ

SOLUTION OF A LINEAR DIFFERENTIAL EQUATION WITH LUMBLE- CONTINUOUS COEFFICIENTS IN TRACTION CALCULATIONS

О.В. Казанко, О.Є. Пенкіна, М.М. Одегов

Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)

O. Kazanko, O. Penkina, M. Odiehov

Кількісний опис процесу руху поїздів необхідний для здійснення тягових розрахунків (для електрорухомого складу). Вони у свою чергу потрібні для визначення найбільш економічного режиму роботи двигунів локомотиву на заданій ділянці. Тягові розрахунки дозволяють встановлювати зв'язок між шляхом, швидкістю та часом для даного рухомого складу. Наукове розуміння та опис процесу руху поїзду може формуватися на основі класичної механіки. 2-й закон Ньютона – один з фундаментальних законів механіки – змушує мати справу з функціональними залежностями фізичних величин, що містять похідні 2-го порядку. Таким чином, при описі процесу руху поїздів доводиться мати справу з диференціальними рівняннями 2-го порядку.

Напрямок дослідження пов'язаний з математичною проблемою визначення простору розв'язків такого диференційного рівняння дасть можливість враховувати ефекти, що виникають в наслідок миттєвого перемикавання режимів роботи тягового рухомого складу. Диференціальне рівняння, що досліджується у роботі є рівнянням з кусково-неперервними коефіцієнтами та кусково-неперервним вільним членом. Для вирішення таких рівнянь класичного поняття похідної виявляється недостатнім. Звісно, з аналізу проведеного авторами [1-5], це добре відома математична проблема при її вирішенні можна допустити альтернативні погляди на розширення класичного поняття похідної. Зрозуміло, що даний напрям дослідження потребує відповідного математичного обґрунтування. На основі лінійної алгебри, зокрема, апарату лінійних операторів поняття звичайного диференційного рівняння, яке базується суто на класичному понятті похідної, може бути розширено до рівняння з кусково-неперервними коефіцієнтами. Головним у такому підході є той факт, що розв'язок лінійного диференційного рівняння 1-го порядку може бути записано у явній формі для самого загального випадку. Справді, нехай $\dot{x} + ax = f$ – рівняння першого 1-го порядку ($a(\tau)$ – коефіцієнт), або, в операторній формі, $Dx = f$. Загальний інтеграл цього рівняння є сума $u = \ker D + u_0$, де u_0 – частковий (деякий) розв'язок. Однорідне лінійне диференціальне рівняння $\dot{x} + ax = 0$ допускає розділення змінних. Отже, маємо

$$\frac{\dot{x}}{x} = -a \Leftrightarrow \ln|x| = -\int_{\alpha}^t a(\tau) d\tau \quad (x \neq 0)$$

$$\Rightarrow \ker D = \{x^*(t) = \lambda e^{-\int_{\alpha}^t a(\tau) d\tau}, \lambda \in (-\infty, +\infty)\}.$$

Далі, за методом варіації знаходимо частковий розв'язок рівняння $\dot{x} + ax = f$:

$$x_0 = C(t)x^* \Rightarrow \dot{C}(t)x^* + C(t)\dot{x}^* + aC(t)x^* = f$$

$$\Rightarrow \dot{C}(t)x^* + C(t)\underbrace{(\dot{x}^* + ax^*)}_{=0} = f \Rightarrow C(t) = x^*(\alpha) + \int_{\alpha}^t f(\tau)(x^*(\tau))^{-1} d\tau.$$

На останок, отримуємо загальний інтеграл звичайного лінійного диференційного рівняння 1-го порядку

$$x = \ker D + x_0 = \{x^* + C(t)x^*\} = \{ x^*(1 + C(t)) \}$$

$$x(t) = \left(1 + \int_{\alpha}^t f(\tau)(x^*(\tau))^{-1} d\tau \right) x^*(t), \quad x^*(t) = \lambda e^{-\int_{\alpha}^t a(\tau) d\tau}.$$

Припустимо коефіцієнт $a(\tau)$ потерпає стрибок в деякій точці t_0 проміжку визначення (α, β) . Точку t_0 будемо називати *точкою нерегулярності*. Формула (5), що виражає загальний розв'язок рівняння 1-го порядку, не втрачає сенсу також якщо коефіцієнт $a(\tau)$ потерпатиме стрибок при $t = t_0$. Більш того, функція x у лівій частині виразу опиниться неперервною при $t = t_0$ та диференційованою при $t \neq t_0$. Не обмежуючи спільності, таку функцію будемо вважати *розв'язком лінійного диференційного рівняння 1-го порядку з кусково-неперервним коефіцієнтом $a(\tau)$* . Таке визначення справді узагальнює поняття звичайного диференційного рівняння, оскільки розв'язок $x(t)$ є неперервна функція при $t = t_0$, тобто диференційованість розв'язку у точці нерегулярності, взагалі кажучи, порушується (поняття звичайного диференційного рівняння базується суто на класичному понятті похідної).

Лінійний диференційний оператор 2-го порядку з кусково-неперервними коефіцієнтами може бути визначено як композицію відповідних операторів 1-го порядку. Причому в якості внутрішнього компонента виступає звичайний диференційний оператор $-D_2$, а в якості зовнішнього композиту – оператор з кусково-неперервним коефіцієнтом D_1 : $L = D_1 D_2$. У роботі вирішено питання про структуру ядра оператора L . Поряд із цим питанням постає ще одне цілком природне питання – питання про можливість виразити коефіцієнти оператора L через коефіцієнти операторів - компонентів $-D_1, D_2$.

[1] Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения, 4-ое издание: учебное руководство – Ижевск, Ижевская республиканская типография, 2000 – 368 с.

[2] Александров, В. А. Обобщенные функции: учебное пособие / В. А. Александров// Новосибирск, Новосибирский гос. ун-т, 2005 – 46 с.

[3] Понтрягин, Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения: учебное пособие /Л. С. Понтрягин// М.: Наука, 1965 – 332 с.

[4] Гетьман, Г. К. Теория электрической тяги: Монография в 2 т. / Г.К.Гетьман – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2011. Т.1. – 456 с.

[5] Гетьман, Г. К. Теория электрической тяги: Монография в 2 т. / Г.К.Гетьман – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2011. Т.2. – 364 с.

УДК 629.423

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ ПРИМІСЬКОГО СПОЛУЧЕННЯ

MODERNIZATION OF TRACTION ENGINES OF SUBURBAN ELECTRIC TRAINS

*канд. техн. наук Н.П. Карпенко, М.М. Одегов
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*N. Karpenko, PhD (Tech.), M. Odiehov
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*