

УДК 681.5.015+62-83:629.433

О. Б. Мокін

Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, 21021 Вінниця, Україна

Адаптація математичного методу обробки даних у задачі моделювання оптимального руху електричного транспортного засобу до умов обмеження на швидкість

Показано як змінюються розрахункові співвідношення параметрів методу оптимізації руху електричного транспортного засобу колією, що прокладено на горизонтальній площині, в умовах обмеження на швидкість.

Ключові слова: метод оптимізації руху, електричний транспортний засіб, обмеження на швидкість, горизонтальний шлях.

Постановка задачі та вихідні передумови

У роботах [1, 2] побудовано алгоритми методу оптимізації та отримані математичні моделі оптимального за критерієм мінімуму витрат електроенергії руху як порожнього, так і завантаженого електричного транспортного засобу за відсутності обмежень на швидкість руху. В обох випадках задача розв'язувалася в одній і тій же постановці: знайти оптимальні за критерієм мінімуму витрат відносної енергії

$$e = \int_{\tau_N}^{\tau_B} i d\tau \quad (1)$$

закони зміни у відносному часі τ для відносної лінійної швидкості руху v електричного транспортного засобу та відносного струму i якірних кіл його тягового електропривода на відносному прямолінійному горизонтальному відрітку колії довжиною s_{NB} , по якому цей транспортний засіб, динаміка якого описується у відносних величинах моделлю

$$\frac{dv}{d\tau} = i\varphi(i) - f_0 - f_1v - f_2v^2 \quad (2)$$

з відносними граничними умовами

© О. Б. Мокін

$$v(N) = v_N, \quad (3)$$

$$v(B) = v_B, \quad (4)$$

$$\frac{dv}{d\tau}(N) = v'_N, \quad (5)$$

$$\frac{dv}{d\tau}(B) = v'_B, \quad (6)$$

рухається за програмою

$$s_{NB} = \int_{\tau_N}^{\tau_B} v d\tau. \quad (7)$$

Різниця полягала лише в тому, що при побудові моделей оптимального руху завантаженого електричного транспортного засобу характеристика намагнічування тягових електродвигунів

$$\phi(i) = \begin{cases} -a_2 i^2 + b_2 i, & i \in [0, i_{cn}), \\ a_1 + b_1 i, & i \in [i_{cn}, \infty) \end{cases} \quad (8)$$

згідно з рекомендаціями роботи [3] апроксимувалася нижнім рядком виразу (8), а при побудові моделей оптимального руху порожнього електричного транспортного засобу ця характеристика апроксимувалася верхнім рядком виразу (8).

Тож для оптимального струму якоря тягових електродвигунів завантаженого електричного транспортного засобу математична модель була отримана у вигляді

$$i = \frac{1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 v}{e^{(\tau+C_1)(f_1+2f_2 v)} - C_0} - a_1 \right), \quad (9)$$

а для оптимального струму якоря тягових електродвигунів порожнього електричного транспортного засобу — у вигляді

$$i = \frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 v}{e^{(\tau+C_1)(f_1+2f_2 v)} - C_0} \right)}. \quad (10)$$

Що ж стосується математичної моделі оптимальної швидкості електричного транспортного засобу, то в обох випадках вона була отримана з використанням перших п'яти поліномів Лагерра у вигляді

$$v(\tau) = \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau), \quad (11)$$

коєфіцієнти g_k в якій знаходились у результаті розв'язання системи п'яти рівнянь з п'ятьма невідомими, що були отримані підстановкою виразу (11) в рівняння граничних умов (3)–(6) та рівняння програми руху (7).

Але розрахункові співвідношення для обчислення параметрів C_0 , C_1 оптимального струму для математичних моделей (9), (10) були отримані різні. Так для математичної моделі оптимального струму у вигляді (9) ці параметри знаходилися шляхом сумісного розв'язання системи рівнянь

$$\frac{1}{4b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} - a_1 \right)^2 + \frac{a_1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} - a_1 \right) - \left(f_0 - f_1 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) - f_2 \left(\sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) \right)^2 - v'_N \right) = 0, \quad (12)$$

$$\frac{1}{4b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) \right) - C_0}} - a_1 \right)^2 + \frac{a_1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) \right) - C_0}} - a_1 \right) - \left(f_0 - f_1 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) - f_2 \left(\sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) \right)^2 - v'_B \right) = 0, \quad (13)$$

а для математичної моделі оптимального струму у вигляді (10) ці параметри знаходилися шляхом сумісного розв'язання системи рівнянь:

$$a_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} \right)} \right)^3 - \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} \right)} \right)^2 + \left(f_0 + f_1 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) + f_2 \left(\sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_N) \right)^2 + v'_N \right) = 0, \quad (14)$$

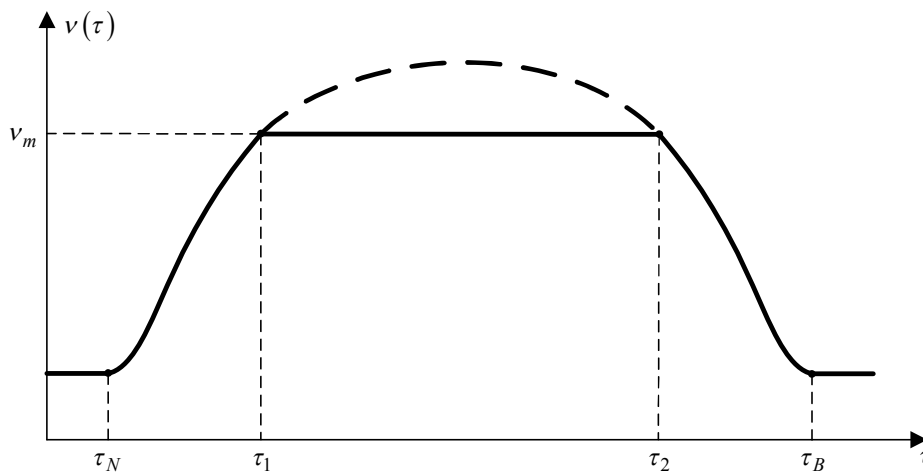
$$\begin{aligned}
 & a_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) \right)} - C_0} \right)} \right)^3 - \\
 & - b_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) \right)} - C_0} \right)} \right)^2 + \\
 & + f_0 + f_1 \sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) + f_2 \left(\sum_{k=0}^4 g_k L_k(\tau_B) \right)^2 + v'_B = 0.
 \end{aligned} \tag{15}$$

У даній роботі буде показано, яких змін набудуть наведені вище співвідношення, якщо на швидкість руху електричного транспортного засобу на відріжку колії довжиною s_{NB} накласти обмеження

$$v(\tau) \leq v_m. \tag{16}$$

Розв'язання задачі

Спочатку на рисунку дамо графічну інтерпретацію обмеження (16) і встановимо наслідки, які з цього виникають.



Графічна інтерпретація обмеження на швидкість руху електричного транспортного засобу відрізком колії довжиною s_{NB}

Звертаємо увагу на те, що ненульові значення швидкості в точках початку і кінця відрізка довжиною s_{NB} свідчать про те, що електричний транспортний засіб в'їжджає на цей відрізок із закруглення колії і виїжджає з цього відрізка теж на закруглення колії, які він проходить зі сталою швидкістю.

Загальновідомо, що графік руху колійних електричних транспортних засобів формується так, щоб вони у визначені точки прибували в точно визначені моменти часу. У нашому випадку це означає, що в точках N і B колії наш електричний транспортний засіб зобов'язаний бути в моменти часу τ_N і τ_B . Але щоб прибути в момент τ_B у точку B електричний транспортний засіб повинен пройти відстань s_{NB} , що згідно з рівнянням (7) можливо лише в тому випадку, коли електричний транспортний засіб проходить цю відстань, дотримуючись швидкості, заданої моделлю (11), коефіцієнти в якій визначені з системи рівнянь (3)–(7) після підстановки у ці рівняння швидкості згідно з виразом (11). Проте у цьому випадку графік швидкості матиме вигляд штрихової лінії (див. рисунок). У разі ж якщо графік швидкості матиме обмеження у вигляді нерівності (16) (неперервна лінія на рисунку), тоді згідно виразу (7) інтеграл від швидкості, який дорівнює площі під кривою її графіка, буде меншим відстані s_{NB} , тобто в момент часу τ_B електричний транспортний засіб ще не досягне точки B . Тож необхідно визначити, яким умовам повинна задовольняти математична модель оптимальної швидкості, щоб, незважаючи на обмеження (16), інтеграл від неї в межах від τ_N до τ_B дорівнював відстані s_{NB} .

З рисунку видно, що для компенсації площі під кривою оптимальної швидкості, яка «зрізається» обмеженням (16), необхідне більш стрімке наростання швидкості в околі граничної точки N і більш стрімкий спад в околі граничної точки B . А цього можна досягти лише знявши граничні умови за прискоренням, тобто відмовившись від рівнянь (5) та (6), на основі яких були отримані для завантаженого електричного транспортного засобу рівняння (12) і (13), а для порожнього — рівняння (14), (15). Одночасно зняття граничних умов за прискоренням дозволяє нам, використовуючи рівняння динаміки (2), замість двох рівнянь (12), (13) чи (14), (15) побудувати по чотири рівняння, подібних до (12), (13) чи (14), (15), але із заміною чисел v'_N , v'_B похідними від швидкості, заданої моделлю (11), і розглядом не лише моментів часу τ_N , τ_B , але й моментів часу τ_1 , τ_2 . Ще два рівняння будемо мати з граничних умов (3), (4). А сьомим рівнянням буде рівняння, в яке трансформується програма руху (7) за наявності обмеження (16), тобто:

$$s_{NB} = \int_{\tau_N}^{\tau_1} v(\tau) d\tau + v_m (\tau_2 - \tau_1) + \int_{\tau_2}^{\tau_B} v(\tau) d\tau. \quad (17)$$

Але, маючи лише 7 рівнянь, ми можемо визначити лише 7 параметрів математичних моделей оптимальної швидкості та оптимального струму, якими є моменти часу τ_1 , τ_2 , сталі інтегрування C_0 , C_1 та коефіцієнти Фур'є g_k , яких у заданих умовах можна визначити лише три.

Переводячи усе сказане вище на мову формул і виходячи з умов (11) і (16) та постулатів варіаційного числення [4] відносно оптимального руху за наявності обмежень за швидкістю, можна стверджувати, що як у випадку завантаженого електричного транспортного засобу, так і у випадку незавантаженого, математична модель оптимальної за критерієм (1) швидкості руху цього транспортного за-

собу прямолінійним горизонтальним відрізком колії довжиною s_{NB} матиме вигляд:

$$v(\tau) = \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau), \quad \tau \in [\tau_N, \tau_1] \cup [\tau_2, \tau_B], \quad (18)$$

$$v(\tau) = v_m, \quad \tau \in [\tau_1, \tau_2], \quad (19)$$

а математична модель оптимального за тим же критерієм (1) струму якоря тягових електродвигунів матиме вигляд

$$i(\tau) = \frac{1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau)}{e^{(\tau+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right)} - C_0} - a_1 \right), \quad \tau \in [\tau_N, \tau_1] \cup [\tau_2, \tau_B], \quad (20)$$

$$i(\tau) = \frac{1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 v_m}{e^{(\tau+C_1)(f_1 + 2f_2 v_m)} - C_0} - a_1 \right), \quad \tau \in [\tau_1, \tau_2] \quad (21)$$

— для завантаженого електричного транспортного засобу та

$$i(\tau) = \frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau)}{e^{(\tau+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right)} - C_0} \right)}, \quad \tau \in [\tau_N, \tau_1] \cup [\tau_2, \tau_B], \quad (22)$$

$$i(\tau) = \frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 v_m}{e^{(\tau+C_1)(f_1 + 2f_2 v_m)} - C_0} \right)}, \quad \tau \in [\tau_1, \tau_2] \quad (23)$$

— для незавантаженого.

Для знаходження параметрів $g_0, g_1, g_2, C_0, C_1, \tau_1, \tau_2$ наведених вище математичних моделей (від заданої виразом (18) до заданої виразом (23)), перших три рівняння з семи рівнянь системи будуть однаковими за структурою, а саме:

$$v(\tau_N) = \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N), \quad (24)$$

$$v(\tau_B) = \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B), \quad (25)$$

$$s_{NB} = \int_{\tau_N}^{\tau_1} \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) d\tau + v_m (\tau_2 - \tau_1) + \int_{\tau_2}^{\tau_B} \sum_{k=0}^2 g_k(\tau) L_k(\tau) d\tau. \quad (26)$$

Інші ж чотири рівняння цієї системи для завантаженого електричного транспортного засобу і не завантаженого матимуть різний вигляд, а саме:

$$\frac{1}{4b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} - a_1 \right)^2 + \frac{a_1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} - a_1 \right) - \quad (27)$$

$$-f_0 - f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) - f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) \right)^2 - \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_N} = 0,$$

$$\frac{1}{4b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) \right) - C_0}} - a_1 \right)^2 + \frac{a_1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) \right) - C_0}} - a_1 \right) - \quad (28)$$

$$-f_0 - f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) - f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) \right)^2 - \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_B} = 0,$$

$$\frac{1}{4b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1)}{e^{(\tau_1+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) \right) - C_0}} - a_1 \right)^2 + \frac{a_1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1)}{e^{(\tau_1+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) \right) - C_0}} - a_1 \right) - \quad (29)$$

$$-f_0 - f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) - f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) \right)^2 - \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_1} = 0,$$

$$\frac{1}{4b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2)}{e^{(\tau_2+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) \right) - C_0}} - a_1 \right)^2 + \frac{a_1}{2b_1} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2)}{e^{(\tau_2+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) \right) - C_0}} - a_1 \right) - \quad (30)$$

$$-f_0 - f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) - f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) \right)^2 - \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_2} = 0$$

— для завантаженого і

$$a_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} \right)} \right)^3 -$$

$$-b_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N)}{e^{(\tau_N+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) \right) - C_0}} \right)} \right)^2 + \quad (31)$$

$$+f_0 + f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) + f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_N) \right)^2 + \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_N} = 0,$$

$$\begin{aligned}
 & a_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) \right)} - C_0} \right)} \right)^3 - \\
 & - b_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B)}{e^{(\tau_B+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) \right)} - C_0} \right)} \right)^2 + \quad (32) \\
 & + f_0 + f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) + f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_B) \right)^2 + \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_B} = 0,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & a_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1)}{e^{(\tau_1+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) \right)} - C_0} \right)} \right)^3 - \\
 & - b_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1)}{e^{(\tau_1+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) \right)} - C_0} \right)} \right)^2 + \quad (33) \\
 & + f_0 + f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) + f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_1) \right)^2 + \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_1} = 0,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & a_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2)}{e^{(\tau_2+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) \right)} - C_0} \right)} \right)^3 - \\
 & - b_2 \left(\frac{b_2}{3a_2} - \sqrt{\frac{b_2^2}{9a_2^2} - \frac{1}{3a_2} \left(\frac{f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2)}{e^{(\tau_2+C_1) \left(f_1 + 2f_2 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) \right)} - C_0} \right)} \right)^2 + \quad (34) \\
 & + f_0 + f_1 \sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) + f_2 \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau_2) \right)^2 + \frac{d}{d\tau} \left(\sum_{k=0}^2 g_k L_k(\tau) \right) \Big|_{\tau=\tau_2} = 0
 \end{aligned}$$

— для незавантаженого.

Розв'язуючи цю систему з семи рівнянь відносно параметрів $g_0, g_1, g_2, C_0, C_1, \tau_1, \tau_2$ за допомогою пакетів прикладних програм (наприклад, ППП Mathcad), отримаємо конкретні числові значення цих параметрів, підстановкою яких у вира-

зи (18)–(23) завершується побудова математичних моделей оптимального за критерієм мінімуму витрат електроенергії руху електричного транспортного засобу прямолінійним горизонтальним відрізком колії заданої довжини в умовах обмеження на швидкість.

Висновки

Побудовано математичні моделі оптимального за критерієм мінімуму витрат електроенергії руху електричного транспортного засобу (як завантаженого так і незавантаженого) прямолінійним горизонтальним відрізком колії заданої довжини в умовах обмеження на швидкість. Отримано розрахункові співвідношення для визначення числових значень параметрів синтезованих оптимальних моделей і запропоновано шляхи їхнього використання для проведення обчислень.

1. Мокін О.Б. Математичні моделі в задачі оптимізації електропривода трамвая в номінальному режимі та в режимі перевантаження за критерієм мінімуму витрат електроенергії / О.Б. Мокін, Б.І. Мокін // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. — Кременчук: КДПУ, 2010. — № 3/2010 (62), Частина 2. — С. 162–165.

2. Мокін О.Б. Оптимізація режиму руху порожнього електричного транспортного засобу на прямолінійному горизонтальному відрізку колії / О.Б. Мокін, Б.І. Мокін // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — Харків: НТУ «ХПІ». — 2010. — № 28. — С. 266–269.

3. Мокін Б.І. Ідентифікація параметрів моделей та оптимізація режимів системи електропривода трамвая з тяговими електродвигунами постійного струму. Монографія / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 92 с. — ISBN 978-966-641-241-9.

4. Петров Ю.П. Вариационные методы оптимального управления / Петров Юрий Петрович. — Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1965. — 220 с.

Надійшла до редакції 27.10.2010