

## МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РУХУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ У ФАЗІ СТВОРЕННЯ ТЯГИ ЛИШЕ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

В науковій роботі, якій присвячена дана доповідь, розв'язана задача оптимізації руху гібридного автомобіля з комбінованим приводом від двигуна внутрішнього згорання та від електричного двигуна постійного струму дорогою, яка крім горизонтальних ділянок містить спуски та підйоми, за умов, що тягове зусилля створюється лише за допомогою системи електропривода при вимкненому двигуні внутрішнього згорання.

**Ключові слова:** оптимізація руху, гібридний автомобіль, двигун постійного струму, двигун внутрішнього згорання

### Abstract

In scientific work, which is devoted to this report, solve the problem optimization of the vehicle with a combined drive of the internal combustion engine and the electric motor of a direct current path that includes in addition to the horizontal sections of descents and climbs, and the movement is carried out only with the electric system in the internal combustion engine is switched off.

**Keywords:** traffic optimization, hybrid car, the DC motor, the internal combustion engine

### Вступ

В роботі [1], якій присвячена наша попередня доповідь, нами здійснена трансформація математичних моделей транспортних засобів з комбінованим приводом від двигуна внутрішнього згорання та від електричного двигуна постійного струму до задачі оптимізації їх руху дорогою, яка крім горизонтальних ділянок містить спуски та підйоми, вибрані критерії оптимізації та обмеження і запропонована схема декомпозиції задачі для випадків, коли один із приводів з якоїсь причини не працює та коли вони створюють тягове зусилля на валу одночасно.

В даній роботі нами показано, як розв'язується ця задача оптимізації, коли із-за несправності чи відсутності пального двигун внутрішнього згорання вимкнено, а автомобіль рухається лише за допомогою його електропривода.

### Результати дослідження

У цьому випадку, як показано в нашій попередній роботі [1], математична модель динаміки автомобіля буде мати вигляд:

- в разі, якщо автомобіль рухається горизонтальною ділянкою дороги

$$\frac{dv}{d\tau} = i\varphi(i) - f_0 - f_1v - f_2v^2; \quad (1)$$

- в разі, якщо автомобіль рухається на спуск;

$$\frac{dv}{d\tau} = i\varphi(i) + f_0^* \sin \beta - f_0 \cos \beta - f_1v - f_2v^2; \quad (2)$$

- в разі, якщо автомобіль рухається на підйом

$$\frac{dv}{d\tau} = i\varphi(i) - f_0^* \sin \beta - f_0 \cos \beta - f_1v - f_2v^2. \quad (3)$$

В якості критерію оптимізації будемо мати функціонал –

$$e_i = \int_0^{\tau_i} (1 - \alpha i) i d\tau, \quad (4)$$

а в якості ізопериметричного обмеження матимемо функціонал

$$l_i = \int_0^{\tau_i} v d\tau. \quad (5)$$

Зауважимо, що у виразах (1)-(5)  $v, \tau, i, e_i, l_i$  відповідно - відносна швидкість руху автомобіля, відносний час, відносний струм якоря електричного двигуна електропривода, відносні витрати енергії та відносний шлях;  $\alpha, f_0, f_0^*, f_1, f_2, \tau_i$  - відносні параметри, а  $\beta$  - кут нахилу осі полотна дороги до горизонтальної площини.

Варіаційна задача оптимізації для цього випадку розв'язується з використанням функції Лагранжа [2],[3]

$$H^{(i)}(v, v', i, i', \psi, \psi', \tau) = i - \alpha i^2 + \lambda_1 (v' - i \varphi(i) + f_0 + f_1 v + f_2 v^2) + \lambda_2 (\psi' - v), \quad (6)$$

та кривої намагнічування електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням у вигляді -

$$\phi(i) = \begin{cases} -a_2 i^2 + b_2 i, & i \in [0, i_{cn}), \\ a_1 + b_1 i, & i \in [i_{cn}, \infty), \end{cases} \quad (7)$$

і приводить до моделі оптимального струму у вигляді:

- якщо електромобіль завантажений, а тому крива намагнічування електродвигуна його електропривода апроксимується нижньою складовою виразу (7)

$$i(\tau) = \frac{1 - a_1 (C_2 e^{(f_1 + 2f_2 v)\tau} - \frac{C_1}{f_1 + 2f_2 v})}{2\alpha + 2b_1 (C_2 e^{(f_1 + 2f_2 v)\tau} - \frac{C_1}{f_1 + 2f_2 v})}, \quad (8)$$

- якщо електромобіль незавантажений, а тому крива намагнічування електродвигуна його електропривода апроксимується верхньою складовою виразу (7)

$$i(\tau) = \frac{2\alpha + 2b_2 \lambda_1(\tau) - \sqrt{(2\alpha + 2b_2 \lambda_1(\tau))^2 - 12a_2 \lambda_1(\tau)}}{6a_2 \lambda_1(\tau)}, \quad (9)$$

$$\lambda_1(\tau) = C_2^* e^{(f_1 + 2f_2 v)\tau} - \frac{C_1^*}{f_1 + 2f_2 v}.$$

Цілком очевидно, що для гібридного автомобіля в разі вимкнення його двигуна внутрішнього згорання і руху лише за допомогою електропривода моделі оптимального струму його електричного двигуна теж матимуть вигляд (8),(9).

Цілком очевидно також і те, що для отримання математичних моделей оптимальної швидкості гібридного автомобіля потрібно рівняння (8),(9) розв'язати відносно  $v$  сумісно з рівнянням обмеження (1) під час руху по горизонтальному відрізку дороги, сумісно з рівнянням обмеження (2) під час руху на спуск і сумісно з рівнянням обмеження (3) під час руху на підйом.

## Висновки

Отже, в результаті нашого дослідження було отримано математичні моделі оптимального руху гібридного автомобіля при відключеному двигуні внутрішнього згорання під час його руху за допомогою системи електропривода відрізком дороги.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мокін О. Б. Декомпозиція задачі оптимізації руху транспортного засобу з комбінованим приводом / О. Б. Мокін, Б. І. Мокін, В. А. Лобатюк, О. П. Кубрак [Електронний ресурс] // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2015. – № 3. - С. 1-9. – Режим доступу: <http://www.praci.vntu.edu.ua/index.php/praci>

2. Мокін О.Б. Оптимізація руху завантаженого електромобіля з тяговим електродвигуном постійного струму послідовного збудження по горизонтальному прямолінійному відрізьку дороги/О.Б. Мокін, О.Д. Фолюшняк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №1. – С.56–60
3. Мокін О.Б. Оптимізація руху незавантаженого електромобіля з тяговим електродвигуном постійного струму послідовного збудження по горизонтальному прямолінійному відрізьку дороги/О.Б. Мокін, О.Д. Фолюшняк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2013. – №2. – С.48–51
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике./И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев// Москва: Наука. – 1967. – 608 с.

*Мокін Олександр Борисович* – д.т.н., проф., завідувач кафедри відновлювальної енергетики та транспортних електричних систем і комплексів (ВЕТЕСК), e-mail: [abmokin@gmail.com](mailto:abmokin@gmail.com).

*Мокін Борис Іванович* – акад. НАПН України, д.т.н., проф., професор кафедри ВЕТЕСК.

*Лобатюк Віталій Анатолійович* – аспірант кафедри ВЕТЕСК.

*Mokin Oleksandr B.* – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes, e-mail: [abmokin@gmail.com](mailto:abmokin@gmail.com);

*Mokin Borys I.* – Academician of NAPS of Ukraine, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;

*Lobatiuk Vitalii A.* – Post-Graduate Student of the Chair of Renewable Energy and Transport Electrical Systems and Complexes;