

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ У ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

¹Хмельницький національний університет, м. Хмельницький
²НУ «Львівська політехніка», м. Львів

Анотація

У роботі розглянуто підходи до оптимізації енергоменеджменту в гібридних міських автобусах на основі математичного моделювання (функціональна оптимізація). Запропоновано методологію розрахунку коефіцієнта корисної дії (ККД) енергетичної системи гібридного автобуса Volvo 7900 Hybrid з оцінкою енергоспоживання та витрат пального. Аналіз здійснено з урахуванням реального міського циклу руху, що дозволяє оцінити ефективність використання енергії у змінних експлуатаційних умовах. Представлено оптимізаційну багатофакторну модель розподілу енергоспоживання між різними джерелами енергії на основі множника Лагранжа та умови Гамільтона, що забезпечує зниження витрат пального на 42% та скорочення середнього розходу до 19 л/100 км. Ці дані можуть бути використані для вдосконалення алгоритмів управління енергетичними потоками у гібридних автобусах, що сприятиме підвищенню екологічної та економічної ефективності міського транспорту.

Ключові слова: гібридний автобус, енергоменеджмент, оптимізація енергоспоживання, ККД, математичне моделювання, міський цикл.

Існують різні типи гібридних систем, і їх ефективність може значно варіюватися в залежності від того, як вони налаштовані і використовуються [1,2]. Розглянемо модель типового щоденної експлуатації автобуса, маршрут якого складається з різних типів руху, кожен з котрих пропонується інтегрувати, оскільки умови руху є змінними протягом часу: міський рух (зупинки, гальмування, рекуперація енергії); приміський рух (плавний рух, менше зупинок); жорсткий трафік (часті зупинки та різкі гальмування, висока частка рекуперації енергії). Нехай T_{city} , T_{sub} , $T_{traffic}$ – це часи, відповідно, для міського, приміського та жорсткого руху на маршруті [3,4]. В такому випадку загальне рівняння витрати пального $M_{fuel,total}$ в інтегральній формі набуде вигляду:

$$M_{fuel,total} = \int_0^{T_{city}} \dot{M}_{fuel,city}(t) dt + \int_0^{T_{sub}} \dot{M}_{fuel,sub}(t) dt + \int_0^{T_{traffic}} \dot{M}_{fuel,traffic}(t) dt, \quad (1)$$

де: $\dot{M}_{fuel,city}(t)$, $\dot{M}_{fuel,sub}(t)$, $\dot{M}_{fuel,traffic}(t)$ – витрата пального у режимі міського руху, приміського та жорсткого трафіку відповідно.

Наступним кроком пропонується окремо інтегрувати витрати пального для кожного режиму руху протягом маршруту. Запишемо універсальне рівняння руху для режиму:

$$M_{fuel,mode} = \int_0^{T_{mode}} [\dot{m}_{fuel}(t) \cdot f_{load}(t) \cdot f_{speed}(t) + P_{drag}(v(t)) + P_{gradient}(t)] dt, \quad (2)$$

де: $\dot{m}_{fuel}(t)$ – витрати пального для конкретного автобуса (ДВЗ, гібрид чи плагін-гібрид); $f_{load}(t)$ – функція залежності потужності від навантаження; $f_{speed}(t)$ – функція залежності потужності від швидкості; $P_{drag}(v(t)) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_d \cdot A \cdot v(t)^2$ – аеродинамічний опір (залежить

від щільності повітря ρ ; коефіцієнт аеродинамічного опору C_d ; площі фронтальної частини автобуса A); $P_{gradient}(t) = m_{bus} \cdot g \cdot h(t) \cdot v(t)$ – вплив рельєфу (залежить від маси автобуса m_{bus} ; градієнту дороги (підйоми, спуски) $h(t)$).

Застосування оптимізованого розрахунку (так званої функціональної оптимізації) дозволило зменшити середню потужність досліджуваного ДВЗ з 98.5 до 85 кВт за рахунок розумного енергоменеджменту гібридної установки та збільшення ККД ДВЗ до 0.37 на міському маршруті зі середньою швидкістю 20 км/год.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Roy, H.K.; McGordon, A.; Jennings, P.A. A generalized powertrain design optimization methodology to reduce fuel economy variability in hybrid electric vehicles. IEEE Trans. Veh. Technol. 2013, 63, 1055–1070.
2. Wang, Q.; Duan, B.; Wang, P.; Gong, Y.; Zhu, Q. Optimization of powertrain transmission parameters of plug-in hybrid electric vehicle. J. Jilin Univ. Technol. Ed. 2017, 47, 1–7.
3. Zan, S.; Qin, D.; Zeng, Y. A study on the parameter optimization of hybrid electric vehicle based on multiple driving cycles. Automot. Eng. 2016, 38, 922–928.
4. Lei, Z.; Cheng, D.; Liu, Y.; Qin, D.; Zhang, Y.; Xie, Q. A dynamic control strategy for hybrid electric vehicles based on parameter optimization for multiple driving cycles and driving pattern recognition. Energies 2017, 10, 54.

Голенко Костянтин Едуардович, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький. holenkoke@khmnu.edu.ua

Драч Ілона Володимирівна, доктор технічних наук, доцент кафедри трибології, автомобілів та матеріалознавства, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький. cogitare410@gmail.com

Горбай Орест Зенонович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, НУ «Львівська політехніка», м. Львів. orest_60@yahoo.ca

Налесник Дмитро Васильович, аспірант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, НУ «Львівська політехніка», м. Львів. dmytro.nalesnyk@gmail.com

Яковенко Євгенія Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій, НУ «Львівська політехніка», м. Львів. yevheniia.i.yakovenko@lpnu.ua

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE ON ENERGY MANAGEMENT OF HYBRID POWER PLANT IN LARGE-SIZED VEHICLES

Abstract

The paper considers approaches to optimizing energy management in hybrid city buses based on mathematical modeling (functional optimization). A methodology for calculating the efficiency of the energy system of the Volvo 7900 Hybrid hybrid bus with an assessment of energy consumption and fuel consumption is proposed. The analysis is carried out taking into account the real urban traffic cycle, which allows assessing the efficiency of energy use in variable operating conditions. An optimization multifactor model of energy consumption distribution between different energy sources based on the Lagrange multiplier and the Hamilton condition is presented, which provides a 42% reduction in fuel losses and a reduction in average consumption to 19 l/100 km. These data can be used to improve energy flow management algorithms in hybrid buses, which will contribute to increasing the environmental and economic efficiency of urban transport.

Keywords: hybrid bus, energy management, energy consumption optimization, efficiency, mathematical modeling, urban cycle.

Kostyantyn Holenko, PhD, Senior Lecturer, Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi. holenkoke@khmnu.edu.ua

Drach Iona, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Tribology, Automobiles and Materials Science, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi. cogitare410@gmail.com

Horbay Orest, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Machine Design and Automotive Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv. orest_60@yahoo.ca

Nalesnyk Dmytro, Postgraduate, Department of Machine Design and Automotive Engineering, Lviv Polytechnic National University, Lviv. dmytro.nalesnyk@gmail.com

Yakovenko Yevheniia, Associate Professor, Department of Electronic Devices of Information and Computer Technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv. yevheniia.i.yakovenko@lpnu.ua