

## Литература

1. Migal V., Arhun Shch., Hnatov A., Dvadnenko V., Ponikarovska S. Substantiating the Criteria For Assessing the Quality of Asynchronous Traction Electric Motors in Electric Vehicles and Hybrid Cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 10, № 36, сс. 989–999, 2019, doi: 10.7736/KSPE.2019.36.10.989.
  2. Arhun S., Hnatov A., Migal V. Ponikarovska S. Determining the quality of electric motors by vibro-diagnostic characteristics, *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, accepted, 2020, doi: 10.4108/eai.13-7-2018.164101.
  3. Bolvashenkov I., Herzog H.G. Degree of fault tolerance of the multi-phase traction electric motors: methodology and application, в *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Florence, Italy, 2016, P. 1–6, doi: 10.1109/EEEIC.2016.7555635.
- Belousov E. V., Grigor'ev M. A., Gryzlov A. A. An electric traction drive for electric vehicles. *Russian Electrical Engineering*, Vol. 88, № 4, P. 185–188, 2017.

Бегерський Дмитро Богданович. к.т.н. Державний університет «Житомирська політехніка»

Опанасюк Євгеній Григорович. к.т.н., доцент. Державний університет «Житомирська політехніка»

Кубрак Юрій Олександрович. к.т.н., доцент. Державний університет «Житомирська політехніка»

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І ПЕРСПЕКТИВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

У наш час спостерігається значне збільшення кількості електромобілів. Це викликано необхідністю вирішення низки проблем, насамперед екологічних, пов'язаних із використанням нафти як сировини для палива двигунів внутрішнього згорання. Уряди багатьох країн світу встановлюють обмеження на використання певних видів палива або двигунів внутрішнього згорання загалом.

В роботі [1] представлено огляд даних щодо використання нафти в світі. Показано, що 49% від світового видобутку нафти споживається у транспортному секторі. На прикладі США показано, що 68% усіх шкідливих викидів, пов'язаних із споживанням палива нафтового походження та 34% викидів вуглекислого газу припадає на транспортний сектор. На прикладі США та Китаю показано державні заходи спрямовані на стимуляцію розвитку екологічно чистого транспорту.

Також у цій роботі показано, що експлуатація автомобілів з електричними силовими установками замість двигунів внутрішнього згорання дозволить зменшити викиди вуглекислого газу на 20% (з урахуванням викидів при виробництві електроенергії), а при використанні відновлюваних джерел енергії - на 40%. Відмічено, що викиди, пов'язані з виробництвом

електроенергії для електромобілів, складають лише 2% окису вуглецю, 76% діоксиду вуглецю, 56% оксидів азоту порівняно з викидами від автомобілів, двигуни яких споживають палива нафтового походження. Показано також, що перехід на HEV (автомобілі з гібридними силовими установками) призведе до зменшення викидів вуглекислого газу на 20-40%, а заміна 80% автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння на HEV зменшить викиди вуглекислого газу більш ніж на 50% до 2050 року.

Таким чином можна зробити висновок про те, що перехід на EV (електромобілі) та HEV є шляхом вирішення багатьох екологічних проблем сьогодення, а отже, роботи спрямовані на вирішення проблем експлуатації EV та HEV є актуальними у наш час.

Основним джерелом енергії для роботи силової установки EV є електричний акумулятор, який водночас є джерелом основних проблем, що обмежують розвиток EV, і насамперед це проблеми, пов'язані із безпекою акумуляторних батарей.

У статті [2] представлено порівняльний аналіз різних типів акумуляторів, що використовуються на HEV та EV та визначено їх основні переваги та недоліки, а саме:

1) *Літій-іонні (Li-Ion).*

-Переваги: найкраще співвідношення заряду до ваги; відсутність ефекту пам'яті.

-Недоліки: висока робоча температура; значні затрати на виготовлення; труднощі з утилізацією; погіршення характеристик при перезаряді/перерозряді.

2) *Нікель-металогідридні (Ni-MH).*

-Переваги: висока щільність енергії та потужності; сумісність з двигунами, що працюють від 320 В змінного струму та від 180 В постійного струму; продовжений життєвий цикл до 80% глибокого розряду; можливість використовувати регенеровану в процесі гальмування енергію; діапазон робочих температур від - 30 °C до + 70 °C.

-Недоліки: збільшена вага; застаріла технологія.

3) *Натрій-нікельхлоридні (Na-NiCl<sub>2</sub>).*

-Переваги: висока щільність енергії; низька, в порівнянні з іншими видами, вартість; збереження робочих характеристик при перезаряді і перерозряді; збільшений порівняно з попередніми термін служби; надійність конструкції; незалежність від низьких температур навколишнього середовища.

-Недоліки: великі розміри; необхідність постійного використання EV з метою запобігання замерзання електроліту; необхідність використання зовнішньої системи підігріву для підтримки робочої температури електроліту, коли акумулятор не використовується; висока робоча температура.

У цій же науковій праці наведено результати віртуального експерименту із визначення автономного пробігу для кожного із зазначених типів акумуляторів при використанні побудованої у AVL Cruise моделі автомобіля VW E-Golf. Отримані авторами результати свідчать про те, що найбільший автономний пробіг, отриманий при використанні акумуляторів Na-NiCl<sub>2</sub>, становить 192 км; для Li-Ion – 165 км; для Ni-MH - 153 км. Однак, враховуючи

переваги та недоліки вищезазначених акумуляторів, автори дійшли висновку, що саме Li-Ion акумулятори в даний час є оптимальним варіантом для використання на EV.

У роботі [1] також визначено основні показники, що повинні забезпечувати акумулятори EV: висока питома ємність, висока швидкість заряду і тривалий життєвий цикл. Зазначено, що безпека акумуляторів є ключовим моментом для їх використання на електромобілях. Акцентується увага на тому, що внаслідок хімічних та електрохімічних реакцій, що відбуваються при заряді/розряді акумуляторів, виділяється значна кількість тепла, що може призвести до перегріву, пожежі та навіть вибуху батарей. У зв'язку з цим робляться висновки про необхідність використання високоефективних систем керування температурою для таких батарей. Представлені також результати багатьох відомих досліджень, що показують, суттєвий вплив температурного режиму батареї на такі її експлуатаційні властивості, як ємність та час життєвого циклу.

У цій же роботі сформульовано основні проблеми, пов'язані з температурним режимом батареї: 1) висока температура батареї під час її заряду/розряду призводить до зниження її працездатності; 2) нерівномірний розподіл температури по поверхні акумулятора (комірки, між комірками у модулі, між модулями) призводить до зростання вірогідності збільшення місцевого пошкодження акумуляторів, що негативно впливає на ресурс акумулятора.

На основі цього, сформульовано основні вимоги до систем керування тепловим режимом батареї, якими є: 1) підтримка оптимальної робочої температури кожної комірки батареї та батареї в цілому; 2) підтримка однакової температури на поверхні кожної комірки батареї, а також забезпечення мінімальної різниці температур між окремими комірками в кожному модулі та між окремими модулями в акумуляторі; 3) компактність, легкість, надійність, низька вартість і простота обслуговування.

В зазначеній роботі наведена класифікація систем керування тепловим режимом батареї. За принципом регулювання температури вони поділяються на активні та пасивні. Відповідно до теплоносія, що використовується для відведення теплоти, вони бувають повітряними, рідинними, з матеріалами, що змінюють агрегатний стан, і комбінованими.

Багато авторів стверджують, що найбільш перспективними є системи керування тепловим режимом батарей на основі матеріалів, що змінюють свій агрегатний стан, але останнім часом зростає увага також і до повітряних систем керування тепловим режимом батарей, про що свідчать останні публікації [3, 4]. На основі результатів наведених досліджень можна стверджувати, що роботи спрямовані на розвиток нових та удосконалення існуючих систем керування тепловим режимом акумуляторів є актуальними, а розвиток таких систем матиме велике практичне значення при вирішенні проблем безпечної експлуатації EV та HEV.

## Література

1. Rao, Zhonghao, and Shuangfeng Wang, 'A Review of Power Battery Thermal Energy Management', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15.9 (2011), 4554–71 <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.096>>
2. Iclodean, C, B Varga, N Burnete, D Cimerdean, and B Jurchiş, 'Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 252 (2017), 012058 <<https://doi.org/10.1088/1757-899X/252/1/012058>>
3. Akinlabi, A. A. Hakeem, and Davut Solyali, 'Configuration, Design, and Optimization of Air-Cooled Battery Thermal Management System for Electric Vehicles: A Review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125 (2020), 109815 <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109815>>
4. Chen, Kai, Yiming Chen, Yiqi She, Mengxuan Song, Shuangfeng Wang, and Lin Chen, 'Construction of Effective Symmetrical Air-Cooled System for Battery Thermal Management', *Applied Thermal Engineering*, 166 (2020), 114679 <<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114679>>

Богаевский Александр Борисович, д.т.н., профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, [bogaevski.a@gmail.com](mailto:bogaevski.a@gmail.com)  
Борисенко Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», [4borisea@gmail.com](mailto:4borisea@gmail.com)  
Буланов Дмитрий Андреевич, студент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

### СИНТЕЗ КВАЗИОПТИМАЛЬНОГО ПО ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИЗЕЛЯ

При решении задачи оптимизации управлений по топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизеля необходимо учитывать противоречивые зависимости удельного эффективного расхода топлива и выбросов вредных веществ в атмосферу в функции координаты топливodoзирующего органа, воздухопобуждения дизеля и фазы топливopoдачи на различных режимах работы агрегата. Кроме того, необходимо учитывать ограничения на ряд параметров рабочего процесса двигателя (максимальное давление сгорания и скорость его изменения по углу поворота коленчатого вала, температуру отработавших газов и т.д.) Изменение фазы топливopoдачи в различных диапазонах по-разному влияет на массу выбросов окислов азота, окислов углерода, сажи и т.д.

Наиболее широкое распространение в последние годы получили следующие методы оптимизации:

- а) вариационное исчисление;
- б) динамическое программирование;