

## АВТОТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ

УДК 629.3

DOI: 10.30977/АТ.2219-8342.2019.44.0.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ  
ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ BMW i3Смирнов О. П.<sup>1</sup>, Борисенко А. О.<sup>1</sup>, Марченко А. В.<sup>1</sup>,  
Романенко А. В.<sup>1</sup>, Євтушенко С. В.<sup>1</sup><sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Стаття присвячена підвищенню ефективності використання електричних транспортних засобів за рахунок дослідження та діагностики електричних систем електромобіля BMW i3. Проведено аналіз основних технічних характеристик BMW i3, досліджено основні компоненти його електрообладнання та систем зарядки його високовольтної тягової акумуляторної батареї. Здійснено практичну діагностику електрообладнання електромобіля BMW i3 в умовах СТО «Баварія Моторс», м. Харків.

**Ключові слова:** електромобіль, гібридний електромобіль, BMW i3, діагностика, електроживлення, електрообладнання, система зарядки, модуль інтерфейсу зарядки, високовольтна тягова акумуляторна батарея, електродвигун.

**Вступ**

Світовий ринок електромобілів у світі стрімко зростає. Зважаючи на те, що ще 20 років тому електромобільний бізнес не розглядався як перспективний, то на сьогодні з упевненістю можна сказати, що майбутнє саме за електрифікованими автомобілями. 2017 р. кількість придбаних у світі електромобілів становила майже 2 млн, продаж зріс порівняно з 2016 р. на 53 %. 2017 р. інвестиції в розвиток електромобілів становили понад \$ 4 млрд, що вдвічі більше, ніж 2016 р. Китай, Швеція, Франція, Сполучені Штати Америки, Німеччина, Норвегія, Нідерланди зацікавлені в екологічно чистому виді транспорту і стимулюють їх розвиток у своїх країнах.

Нині 4 % українського ринку автомобілів належить електромобілям, однак більшість електромобілів були в експлуатації та потрапили в Україну після їх тимчасового використання в європейських країнах або США. Тому актуальною та перспективною є проблема, що розглянута в цьому дослідженні та присвячена підвищенню ефективності використання електричних транспортних засобів на прикладі BMW i3 [1, 2].

**Мета і постановка завдання**

Метою роботи є підвищення ефективності використання електричних транспортних засобів за рахунок дослідження та діагностики електрообладнання електромобіля BMW i3.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– проаналізувати технічні характеристики електромобіля BMW i3 та дослідити його основні компоненти електрообладнання. До таких компонентів належать: система електроживлення, тягова акумуляторна батарея (ТАБ) з контролером керування, системи зарядки, генераторна установка тощо;

– здійснити дослідження систем зарядки високовольтної акумуляторної батареї BMW i3 та додаткового обладнання для цього. Провести аналіз міжнародних стандартів для визначення сприятливих методів зарядки електромобіля BMW i3 в різних країнах;

– провести практичне виконання діагностики електрообладнання BMW i3 в умовах СТО «Баварія Моторс» м. Харків.

**Аналіз публікацій**

На сучасному етапі розвитку науки та техніки проблема створення енергозберігаючих транспортних засобів вирішується за рахунок створення електричних транспортних засобів: електромобілів, гібридних електромобілів або гібридних транспортних засобів [3, 4]. Перспективними є гібридні транспортні засоби, що мають режим «тільки електрика» та здатні накопичувати енергію в тяговій акумуляторній батареї від стаціонарних джерел електричної енергії [5]. Для живлення електропривода використовуються акумуляторні батареї літій-іонного типу, важливою проблемою яких є балансування їх елементів

під час заряду від зовнішньої електричної мережі [6, 7]. Важливою проблемою є порівняння енергетичної ефективності гібридних, електричних та звичайних транспортних засобів, а також розроблення методики визначення витрат енергоносіїв електричних та гібридних транспортних засобів у процесі експлуатації в різних країнах [8–11].

### Технічні характеристики BMW i3

Електромобіль BMW i3 оснащений новітніми системами управління, зокрема системою супутникової навігації Professional і дистанційного керування, клімат-контролем, відеокамерами заднього виду, підігрівом скла і сидінь, системою посиленого живлення, датчиками дощу, парктроником і мультимедійною розважальною системою з Bluetooth, USB, радіо та іншими елементами комфорту.

Захист водія та пасажирів в автомобілі забезпечується бічними та фронтальними подушками безпеки, системою ABS, АЕВ, активним круїз-контролем, сигналізацією аварійного зближення під час паркування PDC та іншими активними й пасивними системами.

Основні технічні характеристики електромобіля BMW i3 зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики електромобіля BMW i3

Основні технічні характеристики		BMW i3
Кількість дверей/місць		5/4
Батарея	Тип	літій-іонна
	Ємність, А·год	60; 94; 120
	Енергоємність, кВт·год	22; 33; 42
Електричний двигун	Тип	синхронний
	Потужність, кВт	125
	Крутний момент, Нм	250
Максимальна швидкість, км/год		150
Середня дальність пробігу, км		160; 200; 260
Розгін до 100 км/год, с		7,3
Споряджена маса, кг		1245

### Дослідження системи електрообладнання

Основними компонентами електрообладнання електромобіля BMW i3 є такі вузли та системи:

- тягова високовольтна акумуляторна батарея (ТАБ);
- інтелектуальний датчик акумуляторної батареї;
- тяговий електричний двигун;
- електронний блок керування (ЕБК) електричним двигуном;

- генераторна установка (відсутня в моделях I01 і I12), що працює від додаткового двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ);
- електронний блок керування ДВЗ;
- споживачі електричної енергії (різні автомобільні системи: автономна система опалення, навігація, інше електронне та електричне обладнання).

Критерії вибору ємності ТАБ:

- пускові якості електричного двигуна;
- споживання електроенергії спокою автомобільними системами;
- споживання електроенергії автомобільними системами під час руху.

Генераторна установка генерує електричну енергію для заряду ТАБ під час роботи двигуна внутрішнього згорання. Змінна зарядна напруга регулюється програмою управління електроживленням залежно від температури й сили струму шляхом збільшення частоти обертання колінчатого вала двигуна системою керування DME / DDE.

Інтелектуальний датчик акумуляторної батареї (IBS) контролює стан акумуляторної батареї. Датчик IBS у безперервному режимі вимірює на акумуляторній батареї такі величини:

- напругу;
- зарядний і розрядний струм;
- температуру акумуляторної батареї.

Для передачі даних інтелектуальний датчик акумуляторної батареї по шині Local-Interconnect-Network (шина LIN) підключений до системи управління двигуном.

ЕБК ДВЗ працює таким чином. Система управління ДВЗ бере участь в електропостачанні в такий спосіб: у разі падіння напруги генератора збільшується частота обертання колінчатого вала двигуна відповідно до необхідного. Програмне забезпечення для цього називається «Управління електроживленням». Напруга перетворювача DC/DC в електромашинній електроніці контролюється програмою управління електроживленням.

Доступні такі системні функції управління електроживленням («розширена програма управління живленням»):

- зниження споживання потужності або відключення споживачів електроенергії;
- регулювання додаткового електрообігрівача;
- збільшення частоти обертання холостого ходу;
- оптимізація зарядної напруги й напруги бортової мережі;

– розпізнавання незадовільного зарядного балансу потужності.

Для функції ступеня заряду, стану акумуляторної батареї та межі можливості запуску генератора на рис. 1 наведено опис функціонування високовольтної акумуляторної батареї з інтелектуальним датчиком.

Додатковий силовий модуль (АРМ) керує електроживленням та є підсистемою управління електроенергією в електрообладнанні електромобіля BMW і3. Управління електроживленням здійснюється ЕБК.

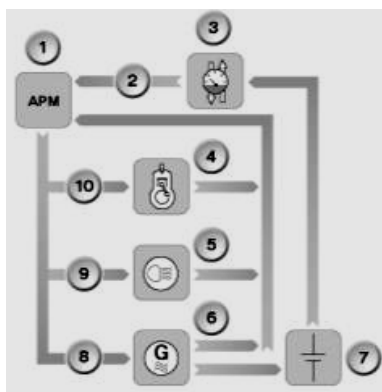


Рис. 1. Опис функціонування тягової акумуляторної батареї: 1 – додатковий силовий модуль (АРМ); 2 – дані акумуляторної батареї (струм, напруга й температура); 3 – інтелектуальний датчик акумуляторної батареї (ІБС); 4 – двигун; 5 – споживачі (автомобільні системи); 6 – генератор (G) / перетворювач DC/DC; 7 – акумуляторна батарея; 8 – введення заданого значення для зарядної напруги; 9 – зниження споживання потужності або відключення окремих споживачів електроенергії; 10 – збільшення частоти обертання ХХ ДВЗ

Мета програми управління електроживленням – забезпечити достатній заряд акумуляторної батареї й якомога довше зберегти можливість пуску автомобіля. Система управління електроживленням регулює споживання потужності найважливішими споживачами електроенергії, а також потужність генератора (за умови його наявності) і заряд акумуляторної батареї під час руху.

Проведемо аналіз зниження споживання потужності або відключення споживачів електроенергії. Відключення окремих споживачів або зниження споживання потужності слугує для оптимального розподілу потужності, яка є залежною від стану автомобіля та ступеня заряду акумуляторної батареї:

– забезпечення достатнього заряду акумуляторної батареї під час руху (зарядний баланс);

– зниження споживання потужності під час розпізнавання зниженої напруги;

– зниження споживання потужності у випадку вимоги мінімальної напруги для електромеханічного підсилювача рульового управління;

– зменшення споживаної потужності для зниження розряду акумуляторної батареї на стоянці (зупинка двигуна автоматичною системою пуску й зупинки двигуна MSA).

Система управління електроживленням керує зниженням споживання потужності та відключенням окремих споживачів за допомогою запитів (повідомлень), які направляються відповідним ЕБК. Якщо ступінь заряду виходить із критичної ділянки або ступінь заряду поліпшується, функції знову відновлюються.

### Зарядження високовольтної акумуляторної батареї BMW і3

Для зарядження електромобіля потрібні додаткові електричні компоненти. В автомобілі потрібні роз'єм для зарядки й силові електронні пристрої для трансформації напруги. Для автомобіля, крім мережі змінної напруги і зарядного кабелю, потрібна ще і станція зарядки (наприклад Wallbox).

Зарядна станція Wallbox має захисну функцію й управляє зарядженням ТАБ. Напруга мережі змінного струму може становити від 110 до 240 В. На практиці для повного заряду тягової акумуляторної батареї потрібно її заряджати від електричної мережі змінного струму 220 В за час від 7 до 10 год.

Усі компоненти для зарядження високовольтної акумуляторної батареї електромобіля BMW і3 стандартизовані у частині конструкцій і функцій. У країнах Європи діє відповідний стандарт ІЕС 61851 [12–14].

ІЕС 61851 – це міжнародний стандарт для систем провідного електропостачання електричних дорожніх транспортних засобів та електричних вантажних автомобілів промисловості, частина яких на цей час все ще розробляється. Компоненти для зарядження високовольтної батареї електромобіля BMW і3 працюють в описаних у стандарті режимах.

Приклади режимів зарядки згідно зі стандартом ІЕС 61851:

– режим зарядки 2: підключення до стандартної побутової розетки з додатковою лінією передачі даних;

– режим зарядки 3: підключення до стаціонарної станції зарядки Wallbox з лінією передачі даних.

Для США діє стандарт SAE J1772 [15]. SAE J1772 (IEC Type 1) – це північноамериканський стандарт для електричних роз'ємів електричних транспортних засобів. Стандарт SAE J1772 охоплює загальний фізичний, електричний, комунікаційний протокол та вимоги до продуктивності системи електропровідного електричного транспортного засобу. Мета полягає у визначенні загальної архітектури системи електропроводки електричного транспортного засобу, включаючи експлуатаційні вимоги, а також функціональні та розмірні вимоги до вхідних та вихідних пристроїв транспортного засобу.

Стандарт SAE J1772 визначає два рівні заряду ТАБ (табл. 2).

Таблиця 2 – Рівні заряду згідно зі стандартом SAE J1772

Рівень заряду	Напруга, В	Фаза напруги	Піковий струм, А	Пікова потужність, кВт
AC Level 1	120	однофазна	16	1,92
AC Level 2	208	трифазна	48	9,98
AC Level 2	240	однофазна	30	7,20
			32	7,68
			80	19,20

Комітет SAE J1772 також запропонував роз'єм постійного струму на основі з'єднувача змінного струму SAE J1772-2009 з додатковими контактами постійного струму та заземлення для підтримки зарядки від 200 до 450 В постійного струму до 80 А (36 кВт) для рівня постійного струму 1 та до 200 А (90 кВт) для рівня постійного струму 2.

Межа заряджання 3-го рівня SAE DC не визначена, але стандарт, який існує, має потенціал для заряджання від напруги 200 до 600 В постійного струму з максимальним струмом 400 А та потужністю 240 кВт.

Описані у стандарті J1772-2009 типи зарядки 1 і 2 можна порівняти з режимами зарядки 2 і 3 для країн Європи. Більшість компонентів для зарядження високовольтної батареї відповідають цим стандартам та реалізуються в одному технічному виконанні.

Практично для електромобіля BMW i3 існують 4 різних типи зарядки:

– зарядка змінним струмом потужністю 3,7 кВт (базове виконання);

– зарядка змінним струмом потужністю 7,4 кВт (додаткове обладнання SA4U8);

– комбінована зарядка змінним струмом потужністю 3,7 кВт і постійним струмом потужністю 50 кВт (додаткове обладнання SA4U7);

– комбінована зарядка змінним струмом потужністю 7,4 кВт і постійним струмом потужністю 50 кВт (додаткове обладнання SA4U7 і SA4U8).

Модуль інтерфейсу зарядки (LIM) є блоком управління із завданням установити зв'язок між електромобілем і станцією зарядки. Напруга на блок управління LIM подається через контакт 30 F. У модулі інтерфейсу зарядки розташований навантажувальний резистор для шини PT-CAN. Крім того, з підключеним зарядним кабелем LIM може активізувати блоки управління в бортовій мережі. Додатково передбачено провід, прокладений безпосередньо від блока управління LIM до електромашинної електроніки (ЕМЕ). Електромашинна електроніка запускає трансформацію напруги й саму зарядку тільки після того, як блок управління LIM дозволяє зарядку за допомогою сигналу з даного проводу.

Зарядка змінним струмом потужністю 3,7 кВт в багатьох країнах є серійної комплектації. Велика перевага цього варіанта зарядки полягає в тому, що для зарядки високовольтної батареї зарядний кабель може підключатися до будь-якої побутової розетки із захисним контактом. Однак у цьому випадку максимальна сила струму для зарядки обмежена 16 А.

### Діагностика енергосистеми BMW i3

Практичне проведення діагностики енергосистеми електромобілів BMW i3 відбувалось в умовах СТО «Баварія Моторс», м. Харків.

Бортова мережа електромобілів за останні роки постійно вдосконалюється. Одночасно зростають вимоги до високовольтної тягової акумуляторної батареї. Аварійна ситуація, викликана розрядженою батареєю, або проблеми в бортовій енергетичній мережі можуть мати різні причини, які здебільшого не належать до самої ТАБ. Тому заміна високовольтної акумуляторної батареї надовго усуває проблему тільки в рідкісних випадках. Тест-блок із діагностики енергосистеми допомагає в пошуку причини.

Метою діагностики енергосистеми є максимально точно визначення причини неспра-

вності. Тест-блок зчитує всі необхідні дані з відповідних ЕБК і після оцінки цих даних видає можливу причину, яка веде до розрядження акумуляторної батареї чи виникнення проблем у бортовій енергетичній мережі, або загальну інформацію. Обсяг цієї інформації може бути різним.

За наявності декількох можливих причин несправностей вони сортуються за пробігом (остання подія стоїть у списку на першому місці). Приклади: автомобіль не переходить до стану спокою, автомобіль увесь час активується або занадто довго були увімкнені стоянкові вогні тощо.

Отримаємо загальну інформацію: результати останніх перевірок струму спокою, інформація про акумуляторну батарею, наприклад, ступінь заряду за останні 5 днів, перевірка тягової акумуляторної батареї (споживання зарядного струму / стартові перешкоди), гістограма стану заряду, середній огляд поїздок, характер стоянок, історія змін тестового модуля. На підставі одержаної інформації можна встановити причину несправності.

Аварійна ситуація, викликана розрядженою акумуляторною батареєю, або проблеми в бортовій енергетичній мережі не обов'язково вказують на несправність батареї. Різні причини розрядження акумуляторної батареї можна розділити на дві основні категорії: несправність автомобіля або несприятливі умови експлуатації.

Несправність автомобіля:

- автомобіль не переходить у режим очікування;
- автомобіль постійно виходить зі стану спокою;
- занадто високий струм спокою за умови стану спокою;
- поганий зарядний баланс;
- несправність акумуляторної батареї.

Несприятливі умови експлуатації:

- занадто довго були увімкнені стоянкові вогні або аварійні світлові сигнали;
- тривалий простій;
- середня поїздка є несприятливою (експлуатація автомобіля на коротких відстанях);
- часте або тривале увімкнення споживачів струму спокою (наприклад радіоприймача або задньої розважальної системи), яке також може бути причиною перешкоди до переходу до стану спокою і підвищеного споживання струму.

Проведемо дослідження даних із діагностичного блока автомобіля, що аналізуються та зчитуються. Аналізовані дані – це, зокре-

ма, інформація із запам'ятовувального пристрою помилок у центральному міжмережному перетворювачі або із запам'ятовувального пристрою помилок під час діагностики управління контактами. Центральний міжмережний перетворювач контролює стан автомобіля, реєструє перешкоди до переходу до стану спокою або несанкціоновані активації. Він посилає команду на скидання або відключення контакту 30 F.

Запам'ятовувальний пристрій помилок і діагностичний запит в управлінні контактами аналізує такі дані:

- перезапуск або відключення контакту 30 F;
- перешкода перезапуску або відключення контакту 30 F (умови не виконані);
- граничне значення можливості пуску досягається за умови увімкненого контакту 15 або 30 В;
- запис у запам'ятовувальний пристрій несправностей за умови автоматичного відключення контакту 15 або 30 В через досягнення граничного значення можливості пуску;
- історія останніх збільшень інерційних фаз роботи контакту 30 В (споживачі струму спокою);
- історія останніх причин пробудження.

До запам'ятовувального пристрою історії енергосистеми записується різна інформація, яка може допомогти у пошуку причин проблем із бортовою енергетичною мережею. Інформація, збережена в запам'ятовувальному пристрої історії енергетичної системи, – це, зокрема:

- огляд поїздок за останні 5 тижнів. Огляд поїздок зберігається в пам'яті історії електроживлення за допомогою 6 наборів даних. Кожен набір даних містить таку інформацію: час початку реєстрації набору даних, пройдений шлях у км під час реєстрації, кількість поїздок на різних ділянках;
- новий набір даних запускається, коли часовий інтервал між поточним часом і часом початку реєстрації поточного набору даних перевищує 7 днів. Таким чином, проміжок часу аналізу становить, як правило, приблизно 35 днів, якщо тільки автомобіль не знаходився в режимі спокою більшу кількість часу;
- старий набір даних перезаписується, як тільки всі 6 наборів даних у приїї заповнюються;
- максимальне число активізацій протягом періоду спокою за відповідні останні 5 тижнів.

Система управління двигуном або система електричного блока управління двигуном (EDME) зберігає різні діагностичні дані, що використовуються під час діагностики електроживлення:

- результати останніх 24 перевірок струму спокою;
- остання зареєстрована заміна акумуляторної батареї;
- ступінь заряду ТАБ за останні 5 днів;
- пробіг за останні 5 днів;
- час і тривалість останніх 4 обмежень або відключення споживачів струму;
- дані вимірювань для контролю стану акумуляторної батареї з розширеним інтелектуальним датчиком акумуляторної батареї: розпізнавання несправних елементів акумуляторної батареї, залишкова ємність.

Проведемо дослідження пам'яті помилок у системі керування двигуном та в EDME. Система управління двигуном, або система EDME, зберігає код помилки за умови перевищення струму спокою, глибокого розрядження акумуляторної батареї й обмеження або відключення споживачів струму.

Запам'ятовувальний пристрій помилок у системі управління світлом працює таким чином. У разі вимкненого контакту R система управління світлом вимикає стоянкові або паркувальні вогні, якщо вимірювана напруга в бортовій мережі нижча, ніж 10,6 В, протягом мінімум 2 хв. За умови відключення в запам'ятовувальному пристрої несправностей записується відповідний код несправності.

Під час ускладненого переходу до стану спокою або несанкціонованої активації послідовно проводяться різні заходи, такі як відключення контактів, щоб не допустити глибокого розрядження акумуляторної батареї і забезпечити можливість пуску автомобіля.

### Висновки

Проведений аналіз публікацій свідчить, що перспективними видами автотранспортних засобів є електромобілі та гібридні електромобілі. Тому для дослідження обраний саме BMW i3, який випускається в цих двох модифікаціях.

Дослідження технічних характеристик BMW i3 демонструє його високу економічність та екологічність. За проведеними дослідженнями основних компонентів електрообладнання та системних функцій управління електроживленням сформульовано висновок, який свідчить, що метою програми управління електроживленням є забезпечення достат-

нього рівня заряду акумуляторної батареї в різних умовах експлуатації та зберігання автомобіля.

На основі дослідження різноманітних систем зарядки електромобілів у різних країнах визначено, що для BMW i3 можна застосовувати чотири різних типи зарядки:

- зарядка змінним струмом потужністю 3,7 кВт (базове виконання);
- зарядка змінним струмом потужністю 7,4 кВт (додаткове обладнання SA4U8);
- комбінована зарядка змінним струмом потужністю 3,7 кВт і постійним струмом потужністю 50 кВт (додаткове обладнання SA4U7);
- комбінована зарядка змінним струмом потужністю 7,4 кВт і постійним струмом потужністю 50 кВт (додаткове обладнання SA4U7 і SA4U8).

Унаслідок діагностики електрообладнання електромобілів BMW i3, яка проходила в умовах СТО «Баварія Моторс», м. Харків, було виявлено їх несправності та зроблено висновок, що аварійна ситуація, викликана розрядженою батареєю або проблемами в бортовій енергетичній мережі, можуть мати різні причини, які здебільшого не відносяться безпосередньо до високовольтної акумуляторної батареї.

### Література

1. Jay C. [BMW Delivers First in Electric Vehicles in Germany Today. 2013.](#) URL: [InsideEVs.com](#) (дата звернення: 24.08.2018).
2. BMW Group The new BMW in - Press pack. 2013. URL: [InsideEVs.com](#) (дата звернення: 04.10.2018).
3. Ning D., Prasad K., Lie T. The electric vehicle: a review // International Journal of Electric and Hybrid Vehicles. Vol. 9 (1), 2017. С. 49–66. URL: [InsideEVs.com](#) (дата звернення: 11.11.2018).
4. Smirnov O. P., Veselaya M. A., Bazhinova T. A. Substantiation of Rational Technical & Economic Parameters of Hybrid Car // Automation, Software Development & Engineering Journal. Vol.1. ISSN 2415 – 6531 Mode of access: World Wide Web. 2016. URL: <http://asdej.xyz/wp-content/plugins/pdf-viewer/stable/web/viewer.html?file=http://asdej.xyz/Files/ID20161031.pdf>
5. Travis F., Ryan J., Evan G., Joshua C. Hwan-Sik Y. Effect of an electric vehicle mode in a plug-in hybrid electric vehicle with a post-transmission electric motor // International Journal of Electric and Hybrid Vehicles. Vol. 8 (4). 2016. С. 289–301. URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1>

- 504/IJEHV.2016.080728 (дата звернення: 21.10.2018).
6. Qiping C., Chuanjie L., Aiguo O., Xiangqin L., Qiang X. Research and development of in-wheel motor driving technology for electric vehicles // *Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 8 (3). URL: [https://www.researchgate.net/publication/309519040\\_Research\\_and\\_development\\_of\\_in-wheel\\_motor\\_driving\\_technology\\_for\\_electric\\_vehicles](https://www.researchgate.net/publication/309519040_Research_and_development_of_in-wheel_motor_driving_technology_for_electric_vehicles) (дата звернення: 25.11.2018).
  7. Wager G., Whale J., Braunl N. Battery cell balance of electric vehicles under fast-DC charging // *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 8 (4). 2016. С. 351–361. URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEHV.2016.080732> (дата звернення: 26.11.2018).
  8. Wager G., Whale J., Braunl N. Battery cell balance of electric vehicles under fast-DC charging // *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 8 (4). 2016. С. 351–361.
  9. Lambros K., Panos D., Pantelis K. Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle // *Transportation Research Procedia*. Vol. 2 (4). 2017. С. 267–274. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517304003> (дата звернення: 28.11.2018).
  10. Diez-Ibarbia A., Battarra M., Palenzuela J., Cervantes G., Walsh S., De-la-Cruz S., Theodossides S., Gagliardini L. Comparison between transfer path analysis methods on an electric vehicle // *Applied Acoustics* 118. 2017. С. 83–101. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X1630514X> (дата звернення: 28.11.2018).
  11. Смирнов О. П., Борисенко А. О. Моделювання витрат енергоносіїв гібридними транспортними засобами залежно від умов експлуатації // *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*. 2017. Вип. 11. С. 20–23. ISSN 2226-9266. URL: [http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_SIS/A\\_E17\\_1/1.3.pdf](http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/A_E17_1/1.3.pdf) (дата звернення: 28.11.2018).
  12. IEC 61851-1: General requirements. 2018. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/33644> (дата звернення: 24.11.2018).
  13. IEC 61851-21-1: Electric vehicle on-board charger EMC requirements for conductive connection to AC/DC supply. 2018. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/32045> (дата звернення: 24.11.2018).
  14. IEC 61851-23: DC electric vehicle charging station IEC 61851-24: Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging. 2018. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/6032> (дата звернення: 25.11.2018).
  15. SAE J1772 North American standard for electrical connectors for electric vehicles maintain. 2018. (дата звернення: 25.11.2018).
- ### References
1. Jay C. (2013) *BMW Delivers First i3 Electric Vehicles In Germany Today*. [InsideEVs.com](http://InsideEVs.com). (accessed: 24.08.2018).
  2. BMW Group The new BMW in - Press pack. 2013. URL: <http://InsideEVs.com> (accessed: 04.10.2018).
  3. Ning D., Prasad K., Lie T. (2017) The electric vehicle: a review // *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 9 (1). С. 49–66. URL: <http://InsideEVs.com> (accessed: 11.11.2018).
  4. Smirnov O.P., Veselaya M.A., Bazhinova T.A. (2016) Substantiation of Rational Technical & Economic Parameters of Hybrid Car // *Automation, Software Development & Engineering Journal*. Vol.1. ISSN 2415 – 6531 Mode of access: World Wide Web. URL: <http://asdej.xyz/wp-content/plugins/pdf-viewer/stable/web/viewer.html?file=http://asdej.xyz/Files/ID20161031.pdf>
  5. Travis F., Ryan J., Evan G., Joshua C., Hwan-Sik Y. (2016) Effect of an electric vehicle mode in a plug-in hybrid electric vehicle with a post-transmission electric motor // *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 8 (4). С. 289–301. URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEHV.2016.080728> (accessed: 21.10.2018).
  6. Qiping C., Chuanjie L., Aiguo O., Xiangqin L., Qiang X. Research and development of in-wheel motor driving technology for electric vehicles // *Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 8 (3). URL: [https://www.researchgate.net/publication/309519040\\_Research\\_and\\_development\\_of\\_in-wheel\\_motor\\_driving\\_technology\\_for\\_electric\\_vehicles](https://www.researchgate.net/publication/309519040_Research_and_development_of_in-wheel_motor_driving_technology_for_electric_vehicles) (accessed: 25.11.2018).
  7. Wager G., Whale J., Braunl N. (2016) Battery cell balance of electric vehicles under fast-DC charging // *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 8 (4). С. 351–361. URL: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJEHV.2016.080732> (accessed: 26.11.2018).
  8. Wager G., Whale J., Braunl N. (2016) Battery cell balance of electric vehicles under fast-DC charging // *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Vol. 8 (4). С. 351–361.
  9. Lambros K., Panos D., Pantelis K. (2017) Total cost of ownership and externalities of conventional, hybrid and electric vehicle // *Transportation Research Procedia*. Vol. 2 (4). С. 267–274. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146517304003> (accessed: 28.11.2018).
  10. Diez-Ibarbia A., Battarra M., Palenzuela J., Cervantes G., Walsh S., De-la-Cruz S., Theodossides S., Gagliardini L. (2017) Comparison between transfer path analysis methods on an electric vehicle // *Applied Acoustics* 118. С. 83–101. URL: <https://www.sciencedirect.com/>

- science/article/abs/pii/S0003682X1630514X (accessed:28.11.2018).
11. Smirnov O. P., Borisenko A. O. (2017) Modeljuvannja vitrat energonosiv gibridnimi transport-nimi zasobami zalezno vid umov ekspluatatsii. [Modeling of energy consumption by hybrid vehicles depending on operating conditions] // Avtomobil' i elekt-ronika. Suchasni tehnologii: elektronne naukove spetsializovane vidannja. Vol. 11. С. 20–23. ISSN 2226-9266. URL: [http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_SIS/A\\_E17\\_1/1.3.pdf](http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/A_E17_1/1.3.pdf)
  12. IEC 61851-1: General requirements. 2018. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/33644> (accessed: 24.11.2018).
  13. IEC 61851-21-1: Electric vehicle on-board charger EMC requirements for conductive connection to AC/DC supply. 2018. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/32045> (accessed: 24.11.2018).
  14. IEC 61851-23: DC electric vehicle charging station IEC 61851-24: Digital communication between a d.c. EV charging station and an electric vehicle for control of d.c. charging. 2018. URL: <https://webstore.iec.ch/publication/6032> (accessed: 25.11.2018).
  15. SAE J1772 North American standard for electrical connectors for electric vehicles maintaine. 2018. (accessed: 25.11.2018).

**Смирнов Олег Петрович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com), тел. +38 068-609-94-58,  
**Борисенко Анна Олегівна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, [anutochka2111@gmail.com](mailto:anutochka2111@gmail.com), тел. +38 096-11-06-949,  
**Марченко Антон Валерійович**<sup>1</sup>, аспірант каф. автомобільної електроніки, [anton.marchenko.1996@gmail.com](mailto:anton.marchenko.1996@gmail.com), тел. +38 099-37-28-881,  
**Романенко Артем Валерійович**<sup>1</sup>, студент, [studentpro1996@gmail.com](mailto:studentpro1996@gmail.com), тел. +380 934-95-31-70,  
**Євтушенко Сергій Володимирович**<sup>1</sup>, студент, [qwerty.evtushenko1997@gmail.com](mailto:qwerty.evtushenko1997@gmail.com), тел. +380 972-56-67-73.

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

### Исследование и диагностика электрических систем автомобиля BMW I3

**Аннотация.** Статья посвящена повышению эффективности использования электрических транспортных средств за счет исследования и диагностики электрических систем автомобиля BMW i3. Проведены анализ основных технических характеристик BMW i3 и исследование основных компонентов его электрооборудования, а также систем зарядки его высоковольтной

тяговой аккумуляторной батареи. Проведена практическая диагностика электрооборудования автомобиля BMW i3 в условиях СТО «Бавария Моторс», г. Харьков.

**Ключевые слова:** электромобиль, гибридный электромобиль, BMW i3, диагностика, электропитание, система зарядки, модуль интерфейса зарядки, высоковольтная тяговая аккумуляторная батарея, электродвигатель.

**Смирнов Олег Петрович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 068-60-99-458, [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com),  
**Борисенко Анна Олеговна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 096-11-06-949, [anutochka2111@gmail.com](mailto:anutochka2111@gmail.com),  
**Марченко Антон Валерьевич**<sup>1</sup>, аспирант, каф. автомобильной электроники тел. +38 099-37-28-881, [anton.marchenko.1996@gmail.com](mailto:anton.marchenko.1996@gmail.com),  
**Романенко Артем Валерьевич**<sup>1</sup>, студент, тел. +380 934-95-31-70, [studentpro1996@gmail.com](mailto:studentpro1996@gmail.com),  
**Евтушенко Сергей Владимирович**<sup>1</sup>, студент, тел. +380 972-56-67-73, [qwerty.evtushenko1997@gmail.com](mailto:qwerty.evtushenko1997@gmail.com).

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

### Research and diagnostics of electric car BMW I3 electric systems

**Abstract. The problem.** The article considers the problem of increasing the efficiency of the use of electric vehicles. This is done by studying and diagnosing electrical equipment of the BMW i3 electric car. **Goal.** The purpose of the work is to increase the efficiency of the use of electric vehicles by studying and diagnosing electrical equipment of BMW i3 electric vehicle. **Methodology.** Systematic, theoretical analysis of the methods applied to an electric car. The methodology is based on the integrated approach to studying the BMW i3. The research of the main components of the electrical equipment of the electric vehicle was carried out, its technical characteristics and the principle of operation of the power system were analyzed, issues of charging a high-voltage battery were considered. System power control functions were investigated. The diagnostics of BMW i3 power system in the conditions of the service station was performed. **Results.** It is established that the purpose of the power control program is to provide sufficient level of the battery charge in different conditions of car operation. It is determined that for the BMW i3 you can use 4 different types of charging. It has been discovered that an emergency situation caused by a discharged battery or problems in the on-board power grid may have various causes, which in most cases do not relate to a high-voltage rechargeable battery. **Originality.** In the article a comprehensive study of the BMW i3 electric vehicle was conducted. **Practical value.** New original



*knowledge has been gained that will improve the performance of BMW i3 electric vehicle.*

**Key words:** *electric car, hybrid electric car, BMW i3, diagnostics, power system, electrical equipment, charging system, charging interface module, high-voltage traction battery, electric motor.*

**Smyrnov Oleh Petrovich**<sup>1</sup>, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 068-60-99-458, e-mail: [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com),

**Borisenko Anna Olegovna**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 096-11-06-949,

e-mail: [anutochka2111@gmail.com](mailto:anutochka2111@gmail.com),

**Marchenko Anton Valerievich**<sup>1</sup>, postgraduate student,

tel. +38 099-37-28-881,

e-mail: [anton.marchenko.1996@gmail.com](mailto:anton.marchenko.1996@gmail.com),

**Romanenko Artem Valerievich**<sup>1</sup>, Master's Degree, tel. +380 934-95-31-70,

e-mail: [studentpro1996@gmail.com](mailto:studentpro1996@gmail.com),

**Yevtushenko Sergey Vladimirovich**<sup>1</sup>, Master's Degree, tel. +380 972-56-67-73,

e-mail: [qwerty.evtushenko1997@gmail.com](mailto:qwerty.evtushenko1997@gmail.com).

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

---