

Дослідження технічних характеристик та методів заряджання електромобіля Hyundai Kona Electric

Аргун Щ. В.¹, Гнатов А. В.¹, Ульянець О. А.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Анотація. У статті проведено дослідження технічних характеристик та способів заряджання електромобіля Hyundai Kona Electric. Проаналізовано розвиток поколінь цієї моделі, порівняно її акумуляторні батареї, зарядну архітектуру та швидкість заряджання. Визначено вплив ємності акумулятора на запас ходу та ефективність експлуатації. Розглянуто різні стандарти зарядних портів та їхню сумісність із зарядною інфраструктурою. Отримані результати можуть бути корисними для оцінки можливостей Hyundai Kona Electric у контексті електромобільного транспорту.

Ключові слова: електромобіль, зарядний порт, зарядна станція, високовольтна акумуляторна батарея, електротранспорт, ємність акумулятора, енергоефективність.

Вступ

Стрімкий розвиток електротранспорту спричинив зростання попиту на ефективні, енергоощадні та доступні електромобілі. Hyundai Kona Electric займає одну з провідних позицій у сегменті електричних кросоверів завдяки оптимальному поєднанню технічних характеристик, запасу ходу та варіативності способів заряджання. Дослідження ключових параметрів цієї моделі дозволяє оцінити її експлуатаційні можливості, економічну доцільність та екологічні переваги [1].

З огляду на активне впровадження електромобілів у міській та міжміській мобільності України, особливої уваги потребують питання ефективності використання акумуляторної батареї, продуктивності силової установки та швидкості заряджання [2, 3]. Оптимізація процесу заряджання є важливим аспектом експлуатації електромобілів, оскільки впливає на їхню зручність, довговічність акумуляторів та загальну економічну ефективність. Визначення найбільш доцільних способів заряджання Hyundai Kona Electric сприятиме підвищенню обізнаності користувачів та ефективному використанню електромобілів у різних умовах експлуатації [4].

Крім того, розвиток зарядної інфраструктури та вдосконалення акумуляторних технологій посилюють актуальність досліджень у цій сфері. Аналіз ефективності методів заряджання, зокрема змінного та постійного струму, дозволяє оцінити їхній вплив на експлуатаційні характеристики автомобіля та довговічність акумуляторної батареї [5–10].

Таким чином, вивчення технічних характеристик та способів заряджання Hyundai Kona Electric є важливим не лише для розуміння особливостей цієї моделі, але й для подальшого розвитку електротранспорту загалом. Отримані результати можуть бути корисними для виробників, операторів зарядних станцій та кінцевих користувачів, сприяючи підвищенню ефективності електромобілів і їх популяризації серед споживачів.

Аналіз публікацій

Ефективність електромобілів значною мірою визначається їхньою зарядною інфраструктурою, витратами енергії та факторами, що впливають на запас ходу. Важливим аспектом дослідження є автономні джерела живлення та перспективи їх інтеграції в зарядну інфраструктуру, що розглянуто в роботі [5].

Автори аналізують можливість використання альтернативних методів накопичення енергії, що може знизити залежність електромобілів від традиційних мережевих зарядних станцій.

Разом з тим, ефективність заряджання електромобілів залежить не лише від джерел живлення, але й від електромагнітних параметрів зарядних станцій. У дослідженні [6] проаналізовано особливості роботи станцій змінного струму, що дозволяє оцінити їхній вплив на електромережу, а також розглянуто питання стабільності та безпеки зарядного процесу.

Іншим ключовим аспектом досліджень є вплив характеристик електромобіля на його запас ходу та споживання енергії. Як показано в роботі [12], реальна витрата енергії суттєво залежить від режиму водіння, аеродинамічного опору та енергоспоживання допоміжних систем, таких як кондиціонування повітря та тепломенеджмент акумулятора. Ці фактори також є предметом дослідження [13], де автори розглядають вплив коефіцієнта аеродинамічного опору та ваги електромобіля на ефективність використання енергії.

Оптимізація процесу заряджання є ще одним важливим напрямом досліджень. У роботі [11] автори пропонують алгоритми підвищення безпеки заряду електромобілів, що включають аналіз структури зарядного обладнання та забезпечення стабільності електромережі під час заряджання. У свою чергу, у [14] розглядається оптимізація зарядного процесу з урахуванням змін у генерації електроенергії від відновлюваних джерел, зокрема вітрових електростанцій.

Питання впливу електромобілів на електромережу та можливості оптимізації зарядного процесу є предметом дослідження в [15]. Автори пропонують підходи до керування зарядним навантаженням з урахуванням тарифів на електроенергію та ємності акумуляторів, що дозволяє зменшити пікові навантаження на мережу. Подібні аспекти розглянуто і в [16–18], де аналізуються стратегії впорядкованого заряджання електромобілів, оптимізація розподілу потужності та потенційні економічні вигоди для користувачів.

Подальший розвиток зарядної інфраструктури та інтеграція інтелектуальних систем управління зарядними станціями є важливими напрямками досліджень, представленими в

[19]. У цій роботі пропонується система автоматизованого збору даних щодо параметрів заряджання в реальному часі, що дозволяє підвищити ефективність управління процесом зарядки електромобілів.

Таким чином, аналіз наукових публікацій показує, що ефективність електромобілів значною мірою залежить від характеристик акумуляторів, впливу експлуатаційних факторів на споживання енергії та методів заряджання. Подальше вдосконалення технологій зарядної інфраструктури та інтеграція інтелектуальних систем управління зарядним процесом є ключовими напрямками розвитку електротранспорту.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є дослідження основних технічних характеристик та способів заряджання електромобіля Hyundai Kona Electric для оцінки його експлуатаційних можливостей, енергоефективності та сумісності із зарядною інфраструктурою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз публікації щодо споживання та витрат енергії електромобілями та методів їх ефективного заряджання;
- проаналізувати покоління випуску електромобіля Hyundai Kona та його технічні характеристики;
- дослідити електричну силову установку Hyundai Kona Electric та систему рекупративного гальмування електромобіля;
- дослідити особливості заряду електромобіля Hyundai Kona в залежності від ринку його збуту;
- дослідити питання ємності акумуляторної батареї та запропонувати методику розрахунку ємності блоку акумуляторів для джерела безперебійного живлення.

Еволюція моделей Hyundai Kona Electric

Автомобіль Hyundai Kona Electric вперше був представлений у березні 2018 р. як електрична версія компактного кросовера Kona, що вийшов на ринок у 2017 р. Ця модель швидко набула популярності завдяки збалансованому співвідношенню запасу ходу, продуктивності та ціни.

У вересні 2020 р. компанія Hyundai провела рестайлінг моделі, покращивши дизайн, мультимедійну систему та інтер'єр. Основні

технічні характеристики, включаючи параметри акумулятора та силової установки, залишилися незмінними.

Друге покоління Hyundai Kona Electric було представлено у грудні 2022 р., а продажі розпочалися в липні 2023 р. Ця версія отримала повністю перероблену платформу, збільшені габарити та вдосконалену архітектуру батарейного блоку. Зокрема, збільшено

запас ходу, покращено енергоефективність та оптимізовано процес заряджання.

Візуальні зміни між поколіннями Hyundai Kona Electric включають оновлення дизайну екстер'єру та інтер'єру. На рисунках нижче в Таблиці 1 представлено порівняння зовнішнього вигляду та салону автомобіля між поколіннями.

Таблиця 1 – Візуальне порівняння поколінь Hyundai Kona Electric

Модель	Зображення автомобіля Hyundai Kona Electric [20, 21]	
	Зовнішній вид	Салон автомобіля
Hyundai Kona Electric 2018-2019 років випуску		
Hyundai Kona Electric 2020 року випуску		
Hyundai Kona Electric SX2 другого покоління		

Як видно з таблиці 1, кожне покоління Hyundai Kona Electric отримувало оновлення екстер'єру та інтер'єру.

Перше покоління (2018-2019 рр.) має класичний компактний дизайн із плавними лініями та простим оформленням інтер'єру.

Рестайлінг 2020 року додав оновлену передню оптику, змінив форму бампера та покращив мультимедійну систему.

Друге покоління (з 2023 року) отримало значні зміни у дизайні: з'явилися більш футуристичні риси, світлодіодна смуга на пе-

редній частині, а також повністю новий салон з мінімалістичним інтерфейсом, широким екраном цифрової панелі приладів і покращеною ергономікою.

Окрім змін у дизайні, друге покоління Hyundai Kona Electric отримало суттєві технічні оновлення, зокрема вдосконалену архітектуру акумулятора, збільшену потужність зарядних пристроїв та покращену енергоефективність.

Основні зміни між поколіннями наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння технічних характеристик Hyundai Kona Electric

Характеристика	Перше покоління (2018-2022)		Друге покоління (з 2023 року)	
	Long Range	Standard Range	Long Range	Standard Range
Акумулятор (кВт·год)	64,0	39,2	65,4	48,4
Запас ходу (WLTP), км	450	305	454	377
Запас ходу (EVDB), км	400	270	390	340
Потужність електродвигуна, к.с. (кВт)	204 (150)	136 (100)	218 (160)	156 (115)
Максимальна швидкість, км/год	167	155	170	162
Потужність DC зарядного пристрою, кВт	77		105	
Час заряджання DC (10–80%), хв	~47		~34	
Потужність AC зарядного пристрою, кВт	7,2		11	
Довжина, мм	4180		4355	
Ширина, мм	1800		1825	
Висота, мм	1570		1575	
Колісна база, мм	2600		2660	

Як видно з таблиці 2, друге покоління Hyundai Kona Electric отримало збільшену ємність акумулятора у версії Standard Range (з 39,2 кВт·год до 48,4 кВт·год), що дозволило збільшити запас ходу майже на 70 км за циклом WLTP. У версії Long Range ємність батареї зросла незначно (з 64,0 кВт·год до 65,4 кВт·год), проте це супроводжувалося підвищенням енергоефективності та продуктивності електродвигуна.

Окрім змін у батарейному блоці, суттєво покращено можливості заряджання. Потужність швидкісного заряджання постійним струмом (DC) зросла з 77 кВт до 105 кВт, що дозволило скоротити час зарядки з 47 хв до 34 хв (при заряді від 10 % до 80 %). Також збільшена потужність змінного струму (AC) до 11 кВт замість 7,2 кВт у попередньому поколінні, що дає можливість швидше заряджати автомобіль від стандартних зарядних станцій.

Зміни торкнулися і габаритних розмірів: довжина автомобіля збільшилася з 4180 мм до 4355 мм, а колісна база – з 2600 мм до 2660 мм, що позитивно вплинуло на комфорт пасажирів та місткість багажного відділення.

Конкуренти на ринку.

Hyundai Kona Electric конкурує в сегменті електричних компактних кросоверів. Основними конкурентами є Opel Mokka-e, Peugeot e-2008, DS 3 E-Tense, Citroën ë-C4, Jeep Avenger EV, Kia Niro EV, Kia Soul EV, Chevrolet Bolt та Nissan Leaf e+.

Порівняно з конкурентами, Kona Electric другого покоління має одну з найкращих

швидкостей заряджання завдяки оптимізованій архітектурі акумулятора та підвищеній потужності зарядних пристроїв. Також покращена продуктивність електродвигуна, що забезпечує кращу динаміку руху та енергоефективність.

Висновки щодо розвитку поколінь

Аналіз змін між поколіннями Hyundai Kona Electric показує такі ключові тенденції:

- ефективніший акумуляторний блок, особливо у версії Standard Range, що сприяє збільшенню запасу ходу;
- суттєве зменшення часу заряджання завдяки зростанню потужності DC-зарядки з 77 кВт до 105 кВт;
- покращена потужність AC-зарядного пристрою з 7,2 кВт до 11 кВт, що забезпечує швидше заряджання від змінного струму;
- збільшення габаритних розмірів позитивно вплинуло на комфорт та практичність автомобіля.

Таким чином, Hyundai Kona Electric другого покоління отримав значні покращення у швидкості заряджання, запасі ходу та продуктивності, що робить його конкурентоспроможним у сегменті електричних компактних кросоверів.

Електрична силова установка Kona Electric

Конструктивні особливості силової установки. Hyundai Kona Electric оснащений електричною силовою установкою, яка включає електродвигун, високовольтну акумуляторну

батарею (АКБ), інвертор, систему керування живленням та редукторну трансмісію. Конструкція автомобіля передбачає відсутність традиційної коробки передач, що спрощує обслуговування та підвищує ефективність передачі потужності (рис. 1) [20].

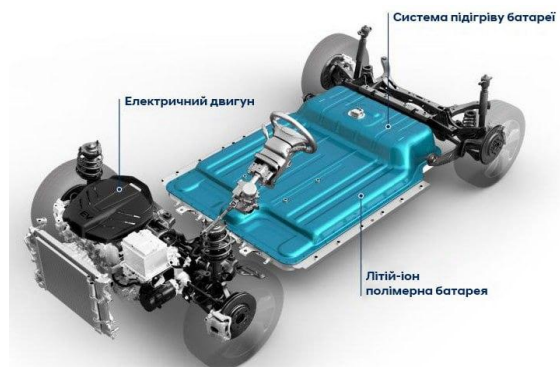


Рис. 1 – Основні компоненти електричної силової установки Hyundai Kona Electric

Основні компоненти силової установки:

- електродвигун – синхронний мотор на постійних магнітах, що забезпечує високу ефективність та моментальний крутний момент.
- інвертор – перетворює постійний струм батареї в змінний для роботи електродвигуна.
- блок керування силовою установкою (VCU) – відповідає за розподіл енергії та контроль роботи всіх електричних вузлів.
- Редукторна трансмісія – передає крутний момент від електродвигуна до ведучих коліс.

Акумуляторна батарея та її характеристики. В автомобілях Hyundai Kona Electric використовується літій-іонна полімерна акумуляторна батарея, що має низький ефект пам'яті та високу щільність енергії. АКБ розміщена під днищем автомобіля, що забезпечує низький центр ваги та покращену керованість.

Основні характеристики акумуляторних батарей Hyundai Kona Electric наведено в таблиці 3. Зміни між поколіннями включають збільшення ємності у версії Standard Range та оптимізацію архітектури акумулятора, що позитивно вплинуло на енергоефективність і запас ходу.

Оновлення другого покоління передбачають оптимізовану архітектуру акумуляторного модуля, що дозволило збільшити ефек-

тивність використання енергії та зменшити втрати при заряджанні (рис. 2).

Таблиця 3 – Характеристики акумуляторної батареї Hyundai Kona Electric

Характеристика	Перше покоління (2018-2022)		Друге покоління (з 2023 року)	
	Standard Range	Long Range	Standard Range	Long Range
Ємність батареї, кВт·год	39,2	64,0	48,4	65,4
Запас ходу (WLTP), км	305	450	377	454
Напруга батареї, В	327	356	358	358
Тип охолодження	Рідинне			



Рис. 2 – Електричний двигун Hyundai Kona Electric / Kia e-Niro

Продуктивність електродвигуна. Hyundai Kona Electric використовує синхронний електродвигун із постійними магнітами, що забезпечує високу ефективність і плавну динаміку руху.

Продуктивність електродвигуна є ключовим фактором у визначенні динамічних характеристик Hyundai Kona Electric. Друге покоління моделі отримало потужніший силовий агрегат, що позитивно вплинуло на прискорення та максимальну швидкість. У таблиці 4 наведено порівняння динамічних характеристик першого та другого покоління автомобіля у версіях Standard Range та Long Range.

Як видно з таблиці 4, потужність електродвигуна зросла у другому поколінні, що дозволило покращити динаміку розгону. У версії Long Range потужність зросла з 150 кВт до 160 кВт, а у Standard Range – зі 100 кВт до 115 кВт. Незважаючи на зменшення крутного моменту у новому поколінні, оптимізована система керування дозволяє підтримувати ефективне використання енергії та стабільну динаміку руху.

Таблиця 4 – Динамічні характеристики Hyundai Kona Electric

Характеристика	Перше покоління (2018-2022)		Друге покоління (з 2023 року)	
	Standard Range	Long Range	Standard Range	Long Range
Потужність, к.с. (кВт)	136 (100)	204 (150)	156 (115)	218 (160)
Крутний момент, Н·м	395	395	255	255
Максимальна швидкість, км/год	155	167	162	170
Розгін від 0 км/год до 100 км/год, с	~9,7	~7,6	~8,8	~7,8

Результати тестувань підтверджують збільшення енергоефективності другого покоління, що забезпечує покращену продуктивність та оптимізовану витрату енергії.

Система рекуперативного гальмування

Kona Electric оснащений інтелектуальною системою рекуперативного гальмування, що дозволяє відновлювати енергію під час уповільнення автомобіля. Водій може налаштувати рівень рекуперації за допомогою підкермових перемикачів (рис. 3) [20].

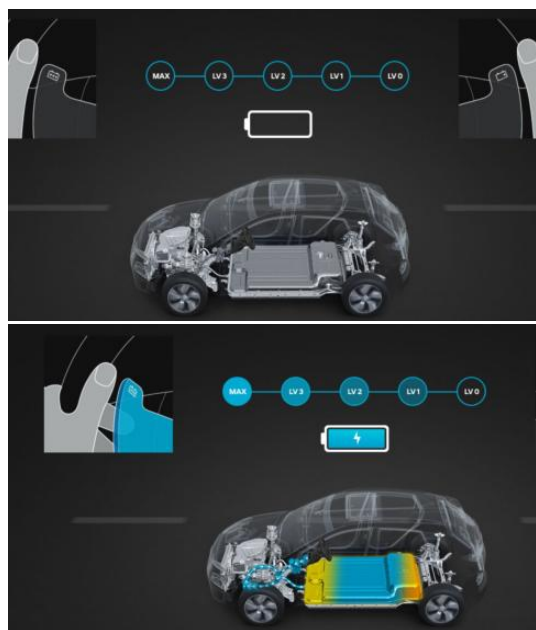


Рис. 3 – Регулювання рекуперативним гальмуванням

Рівні рекуперативного гальмування:

- Рівень 0 – відсутня рекуперація, авто-

мобіль котиться вільно;

- Рівень 1 – мінімальна рекуперація, зменшує втрати енергії;
- Рівень 2 – стандартний баланс між уповільненням та ефективністю;
- Рівень 3 – максимальна рекуперація, що дозволяє керувати автомобілем лише за допомогою акселератора (режим i-Pedal).

Удосконалений режим i-Pedal другого покоління дозволяє повністю зупинити автомобіль без використання гальм, що покращує ефективність руху в міських умовах.

Зарядна архітектура та швидкість заряджання

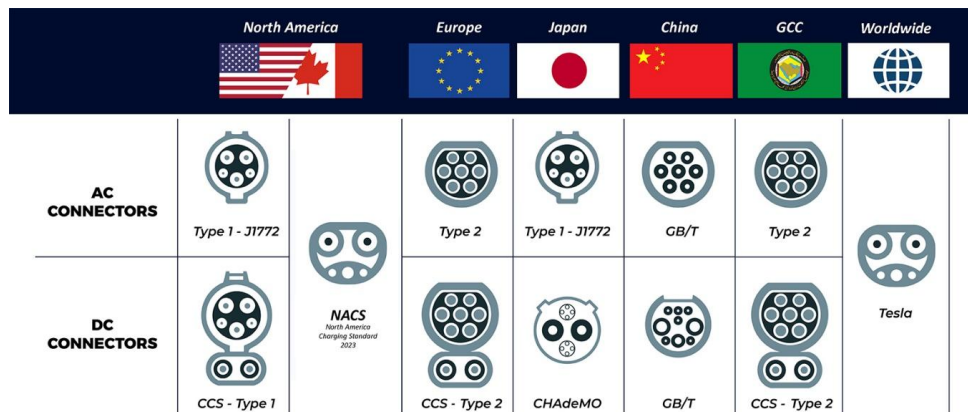
Ефективність використання електромобіля значною мірою залежить від його зарядної архітектури та швидкості заряджання, рис. 4. Hyundai Kona Electric підтримує зарядку змінним (AC) і постійним (DC) струмом, що дозволяє використовувати як домашні зарядні пристрої, так і швидкісні зарядні станції. У другому поколінні моделі зарядна система була оптимізована, що дозволило скоротити час заряджання та покращити енергоефективність.



Рис. 4 – Зарядні порти Hyundai Kona Electric: а – CCS2; б – CCS1; в – GB/T

Типи зарядних портів Hyundai Kona Electric залежно від ринку збуту

Hyundai Kona Electric підтримує декілька стандартів зарядних портів, що забезпечує його сумісність із зарядною інфраструктурою різних регіонів. Основними стандартами є CCS Combo 1 та 2, Type 1 (J1772), Type 2 (Mennekes) та CHAdeMO, рис. 5 [22]. Докладний опис кожного з них представлено у розділі «Опис зарядних портів Hyundai Kona Electric».



*GCC – це назва регіонального союзу шести арабських держав на Аравійському півострові: Саудівська Аравія, ОАЕ, Кувейт, Катар, Оман та Бахрейн.

Рис. 5 – Типи зарядних портів для електромобілів в залежності від ринку збуту

Завдяки гнучкій архітектурі зарядки Hyundai Kona Electric адаптований для використання в різних країнах та може легко інтегруватися в існуючу інфраструктуру зарядних станцій.

Зарядження змінним струмом (AC)

Зарядження змінним струмом використовується в побутових умовах та на громадських АС-станціях, що мають потужність від 3,6 кВт до 22 кВт.

У першому поколінні Hyundai Kona Electric максимальна потужність АС-зарядки становила 7,2 кВт, що дозволяло зарядити батарею Long Range (64 кВт·год) приблизно за 9 годин від зарядного пристрою 220 В / 32 А.

У другому поколінні потужність АС-зарядки збільшено до 11 кВт, що скорочує час зарядження до 6 год 55 хв.

Переваги АС-зарядки:

- зручність для нічного зарядження вдома;
- мінімальне навантаження на акумулятор, що подовжує його ресурс;
- відносно низька вартість обладнання для зарядження.

Зарядження постійним струмом та швидкі зарядні станції

Зарядження постійним струмом (DC) використовується на швидкісних зарядних станціях, що дозволяє поповнити заряд акумулятора за короткий час.

У таблиці 5 наведено порівняння характеристик DC-зарядки між поколіннями Hyundai Kona Electric.

Таблиця 5 – Порівняння характеристик зарядної архітектури Hyundai Kona Electric

Характеристика	Перше покоління (2018-2022)	Друге покоління (з 2023 року)
Потужність АС-зарядного пристрою, кВт	7,2	11
Потужність DC-зарядного пристрою, кВт	77	105
Час зарядки DC (10-80%), хв	~47	~34
Сумісні станції, кВт	50, 100, 150	50, 100, 150, 350

Потужність швидкісної зарядки постійним струмом (DC) збільшилася з 77 кВт до 105 кВт, що дало змогу скоротити час зарядження акумулятора з 47 хв. до 34 хв. при використанні потужної швидкісної зарядної станції. Окрім цього, підтримка 11 кВт АС дозволяє ефективніше використовувати громадські зарядні станції змінного струму. Hyundai Kona Electric другого покоління підтримує зарядні станції до 350 кВт, хоча фактична швидкість зарядження обмежена 105 кВт через характеристики батареї.

Ці вдосконалення роблять Hyundai Kona Electric більш зручним для повсякденного використання та подорожей на далекі відстані.

Опис зарядних портів Hyundai Kona Electric

Hyundai Kona Electric підтримує декілька стандартів зарядних портів, що забезпечує його сумісність із зарядною інфраструктурою різних регіонів. У цьому розділі розгля-

нуто основні типи зарядних роз'ємів, їхні особливості та застосування.

Основними типами роз'ємів є J1772 (Type 1), Type 2 (Mennekes), CCS Combo 1, CCS Combo 2 та CHAdeMO, рис. 6 [23, 24].



Рис. 6 – Зарядні конектори

Порт J1772 (Type 1). Порт J1772 (відомий як Type 1) застосовується переважно в Північній Америці, Японії та країнах Азії. Він підтримує заряджання змінним струмом (AC) і використовується для рівня Level 1 (120 В) та Level 2 (240 В), що робить його зручним для домашнього заряджання (рис. 6) [23, 24].

Особливості порту:

- максимальна сила струму: 80 А (поширений варіант – 32 А);
- потужність заряджання: до 7,2 кВт при напрузі 220 В;
- час заряджання: ~3 години на 100 км пробігу; ~9,5 годин для повного заряду акумулятора Hyundai Kona Electric.

Недоліки J1772:

- Підтримує лише однофазне заряджання, що обмежує потужність.
- у Європі він майже не зустрічається, оскільки там стандартним роз'ємом є Type 2;
- в Україні на початковому етапі розвитку електротранспорту J1772 був одним із основних роз'ємів для AC-заряду, проте з кожним роком таких зарядних станцій стає все менше.

Через ці обмеження більшість сучасних електромобілів для європейського ринку використовують Type 2 або CCS Combo 2.

Порт Type 2 (Mennekes). Порт Type 2 є найпоширенішим у Європі, Великобританії та країнах Близького Сходу. Він розроблений для заряджання змінним струмом (AC) і підтримує як однофазне, так і трифазне підключення.

Особливості порту:

- максимальна потужність зарядки:
- однофазне підключення – 7,4 кВт;
- трифазне підключення – до 22 кВт

Вибір стандарту впливає на швидкість заряджання, сумісність із зарядною інфраструктурою та можливість використання як змінного (AC), так і постійного струму (DC).

(3×7,4 кВт);

- Час заряджання:
- ~1 година для пробігу 100 км;
- ~6 годин для повного заряду Hyundai Kona Electric другого покоління.

Type 2 має кілька переваг над J1772:

- може використовувати трифазне підключення, що значно скорочує час заряджання;
- став основним стандартом у Європі для AC-заряду;
- підтримується в Hyundai Kona Electric другого покоління, тоді як перше покоління випускалося з однофазним AC-портом.

Однак варто зазначити, що не всі електромобілі підтримують зарядні пристрої на 22 кВт. Наприклад: Tesla, Audi e-tron – можуть заряджатися на 22 кВт; Porsche Taycan у базовій версії – зарядний пристрій на 11 кВт (22 кВт доступний тільки у топових комплектаціях).

Таким чином, Hyundai Kona Electric із портом Type 2 сумісний з більшістю європейських AC-станцій, що забезпечує швидке та ефективне заряджання.

CCS Combo (Type 1 та Type 2). Стандарт CCS (Combined Charging System) є найпоширенішим у Європі та США і підтримує як змінний струм (AC), так і швидкісне заряджання постійним струмом (DC):

- CCS Combo 1 (CCS1) використовується в США, Канаді, Кореї.
- CCS Combo 2 (CCS2) є стандартом для Європи, Великобританії, України.

CCS – це розширена версія Type 1 або Type 2, яка має два додаткові контакти для заряджання постійним струмом (DC).

Переваги CCS:

- можливість заряджатися від АС-станцій через верхній роз'єм (Type 1 або Type 2);
- можливість заряджатися від DC-

станцій через нижній роз'єм CCS Combo (рис. 7);
підтримка високої потужності DC-зарядки (від 50 до 350 кВт).



Рис. 7 – Зарядні станції для електромобілів постійним струмом (DC)

CCS дозволяє підключати електромобіль до стаціонарних зарядних станцій, які передають енергію безпосередньо в батарею, минаючи бортовий зарядний пристрій.

У CCS роз'єми бувають першого та другого покоління:

- перше покоління – підтримує до 200 А;
- друге покоління – підтримує до 500 А (актуально для зарядок 800 В).

Hyundai Kona Electric другого покоління підтримує заряджання через CCS Combo 2, що робить його сумісним з більшістю швидкісних зарядних станцій в Україні.

Вдосконалена 800 В архітектура

Окрім стандартних 400 В систем, у сучасних електромобілях впроваджується 800 В архітектура, що має низку переваг:

- більш швидке заряджання – скорочує час зарядки удвічі;
- менший струм при однаковій потужності – зменшує навантаження на батарею;
- зниження теплового навантаження на АКБ, що подовжує її термін служби.

800 В архітектура використовується в Hyundai Ioniq 5, Kia EV6, Porsche Taycan, Lucid Air, Tesla Cybertruck та інших електромобілях нового покоління.

Однак Hyundai Kona Electric працює на стандартній 400 В платформі, що означає обмеження у швидкості заряджання в порівнянні з 800 В системами.

Оптимізація процесу заряджання Hyundai Kona Electric

Оскільки ефективність заряджання електромобіля залежить не лише від стандарту зарядного порту, а й від параметрів зарядної станції, температурних умов та характеристик акумуляторної батареї, доцільно розглянути ключові фактори, що впливають на швидкість та стабільність заряджання Hyundai Kona Electric.

Проведені дослідження заряджання Hyundai Kona Electric першого покоління показали, що максимальна швидкість заряду досягається при температурі батареї 25-30°C (рис. 8):

- при заряді 50% потужність заряджання становить 77 кВт (згідно з панеллю приладів Kona Electric);
- зарядна станція фіксує 75,5 кВт, що пояснюється особливостями алгоритмів роботи контролера;
- навколишня температура під час тесту становила -8°C, що підкреслює важливість термоменеджменту батареї для швидкого заряджання.

Таким чином, ефективне заряджання Hyundai Kona Electric залежить від температури батареї, потужності зарядної станції та характеристик бортового зарядного пристрою.

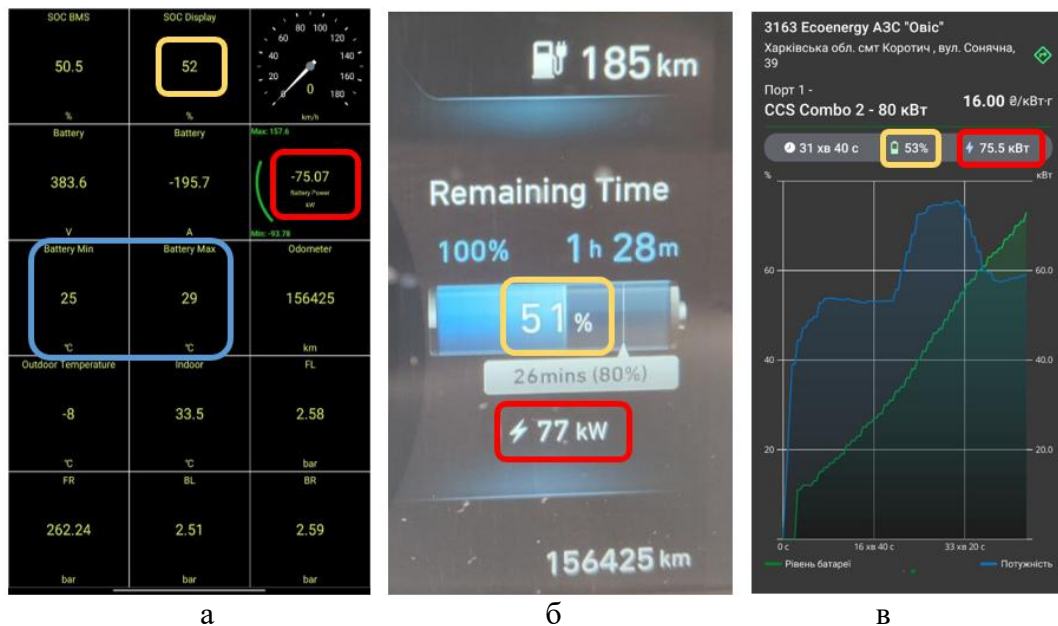


Рис. 8 – Заряд електромобіля Hyundai Kona Electric 1-го покоління випуску: а – показники сканеру Car Scanner ELM OBD2; б – показники панелі приладів Kona Electric; в – графік зарядної сесії Kona Electric

Характеристики акумуляторної батареї Hyundai Kona Electric

Hyundai Kona Electric оснащений літій-іонною акумуляторною батареєю (АКБ) з рідинним охолодженням, що забезпечує стабільну продуктивність, оптимальну робочу температуру та високу енергоефективність. У другому поколінні моделі оновлено архітектуру акумуляторного модуля, що дозволило збільшити запас ходу та покращити швидкість заряджання.

Для повного розуміння процесу заряджання електромобіля необхідно розглянути поняття ємності акумуляторної батареї, яка є однією з найважливіших технічних характеристик.

Ємність акумулятора визначає максимальну кількість електроенергії, яка накопичується в АКБ за повний цикл зарядки. вона вимірюється в А·год та кВт·год, що дозволяє оцінити запас енергії для роботи електродвигуна.

Номінальна ємність визначається за формулою:

$$Q = I \cdot t, \quad (1)$$

де Q – ємність акумулятора, А·год; I – постійний струм розряду акумулятора, А; t – час розряду батареї, год.

Величина електричної енергії, яка накопичена АКБ визначається як добуток показників сили струму заряду, напруги батареї і часу протікання цього струму:

$$W = I \cdot U \cdot T, \quad (2)$$

де W – енергія, що накопичує батарея, Дж; U – напруга акумулятора, В; I – постійний струм розряду акумулятора, А; t – час розряду акумулятора, год.

З урахуванням формули (1), електрична енергія, яка накопичена АКБ може бути визначена, як:

$$W = Q \cdot U, \quad (3)$$

де W – енергія, що накопичує батарея, Вт·год; Q – ємність акумулятора, А·год; U – напруга акумулятора, В.

При послідовному підключенні декількох акумуляторів однакової ємності, загальний показник даної зв'язки дорівнює сумі ємності всіх АКБ, що входить до її складу. В такому випадку енергія отриманого акумуляторного блоку визначиться, як перемноження електроенергії однієї батареї на їх кількість, рис. 9 [26].

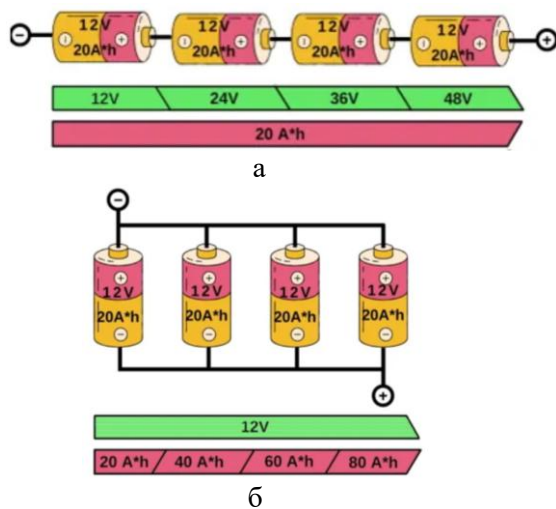


Рис. 9 – Схеми з'єднання акумуляторів: а – послідовне з'єднання АКБ; б – паралельне з'єднання АКБ

Ємність акумуляторної батареї та запас ходу

АКБ Hyundai Kona Electric представлена у двох варіантах: Standard Range та Long Range. Основні характеристики акумуляторних батарей першого та другого покоління наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 – Порівняння характеристик акумуляторних батарей Hyundai Kona Electric

Характеристика	Перше покоління (2018-2022)		Друге покоління (з 2023 року)	
	Standard Range	Long Range	Standard Range	Long Range
Ємність батареї, кВт·год	39,2	64,0	48,4	65,4
Корисна ємність, кВт·год	~37,0	~62,0	~46,0	~63,0
Запас ходу (WLTP), км	305	450	377	454
Споживання енергії, кВт·год/100 км	14,3	15,0	14,7	15,7
Напруга батареї, В	327	356	358	358
Тип охолодження	рідинне			

Батарея Hyundai Kona Electric другого покоління має оптимізовану конструкцію та збільшену щільність енергії, що дозволило:

- збільшити ємність Standard Range на 23 %, що дало приріст запасу ходу на 72 км;

- покращити ефективність батареї, що зменшило середнє споживання енергії.

Технологічні особливості акумуляторної батареї

АКБ Hyundai Kona Electric має кілька важливих технічних характеристик, які забезпечують її надійність та довговічність:

- тип акумуляторних осередків: літій-іонний полімер (NMC – нікель-марганець-кобальт);
- охолодження: рідинне активне, що дозволяє контролювати температуру та запобігати перегріву;
- оптимізація роботи системи керування батареєю (BMS): забезпечує балансування осередків для рівномірного розряду та мінімізує деградацію АКБ.

Вдосконалена система керування батареєю у другому поколінні має покращені алгоритми енергозбереження, що дозволяє:

- оптимізувати використання ємності акумулятора залежно від умов експлуатації;
- покращити ефективність рекуперативного гальмування, що зменшує втрати енергії.

Розрахунок потрібної ємності акумулятора

Розрахунок спожитої потужності здійснюється в Вт, а ємність батареї, наприклад, для системи заряду електромобіля, або джерела безперебійного живлення (ДБЖ) – в А·год. Щоб розрахувати необхідну ємність акумуляторів для таких систем, необхідно провести нескладні підрахунки. Для кращого розуміння розглянемо конкретний приклад.

Припустимо, є навантаження, що споживає 1000 Вт, що вимагає резервування протягом 3 год. Так як величина накопиченої енергії залежить не тільки від ємності батареї, але і від її напруги, то потрібно загальну потужність (1000 Вт) поділити на робочу напругу акумуляторів.

Отже, величина необхідної ємності акумуляторної батареї визначається [24]:

$$Q = (P \cdot t) / (V \cdot k) \quad (4)$$

де Q – потрібна ємність акумуляторної батареї, А·год; P – потужність споживача, Вт; V – номінальна напруга акумуляторної батареї, В; T – час автономної роботи, год; k – коефі-

цієнт використання ємності, що враховує допустиму частку ємності, яку реально можна використовувати.

Запровадження коефіцієнта k зумовлене тим, що акумуляторна батарея може бути заряджена не повністю, а також тим, що глибокий розряд значно зменшує її строк служби. Наприклад, нова свинцево-кислотна батарея, що регулярно розряджається лише на 30 % від повної ємності перед наступним зарядом, здатна витримати приблизно 1000 таких циклів. Водночас, якщо глибина розряду зростає до 70 %, кількість можливих циклів знижується до близько 200 [27].

Отже, отримуємо, що для живлення даного навантаження протягом зазначеного періоду часу, якщо вибрати 12-вольтні акумулятори:

$$Q = (1000 \cdot 3) / (12 \cdot 0,7) = 357,1 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Це мінімально необхідна ємність АКБ для розглянутого випадку. В ідеалі краще брати джерело енергії з невеликим запасом (близько 20%) для того, щоб кожного разу не розряджати його повністю - це допоможе зберегти робочі характеристики АКБ протягом якомога більшого періоду часу.

$$Q = 357,1 \cdot 1,2 = 428,5 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Отже, для вирішення поставленого завдання необхідно мати 12-вольтні акумулятори сумарною ємністю не менше 429 А·год.

Вплив температури на ефективність батареї

Робоча температура акумулятора значно впливає на його продуктивність, швидкість заряджання та запас ходу. Дослідження показують такі тенденції:

- при температурі +25°C акумулятор працює в оптимальному режимі, що забезпечує максимальний запас ходу;
- при температурі -10°C запас ходу може зменшуватися на 15-20 % через збільшення енергоспоживання на обігрів батареї та салону;
- при температурі вище +35°C система охолодження активніше споживає енергію, що також може впливати на запас ходу.

У другому поколінні Hyundai Kona Electric впроваджено функцію попереднього кондиціонування батареї (Battery

Preconditioning), яка дозволяє:

- підтримувати оптимальну температуру осередків перед заряджанням;
- зменшити втрати енергії при низьких і високих температурах;
- скоротити час заряджання в холодну погоду.

Час заряджання в залежності від ємності батареї

Збільшення ємності батареї у другому поколінні вимагало вдосконалення системи заряджання. Основні показники часу зарядки наведено в таблиці 7.

Таблиця 7 – Час заряджання акумуляторної батареї Hyundai Kona Electric

Характеристика	Перше покоління (2018-2022)	Друге покоління (з 2023 року)
Потужність АС-зарядного пристрою, кВт	7,2	11
Потужність DC-зарядного пристрою, кВт	77	105
Час зарядки DC (10-80%), хв	~47	~34
Час зарядки АС (0-100%), год	~9	~6,5

Завдяки збільшенню потужності DC-зарядки у другому поколінні:

- зменшено час зарядки з 47 до 34 хв на станціях 150 кВт;
- збільшено потужність АС-зарядного пристрою до 11 кВт, що скорочує зарядку вдома з 9 до 6,5 год.

Висновки щодо акумуляторної батареї Hyundai Kona Electric

Оновлення батареї у другому поколінні Hyundai Kona Electric забезпечило такі переваги:

- збільшення ємності АКБ та покращення щільності енергії, що дало приріст запасу ходу;
- вдосконалення системи керування батареєю, що покращило її продуктивність та подовжило термін служби;
- оптимізація температурного режиму, що дозволяє досягти стабільної роботи в різних кліматичних умовах;
- скорочення часу зарядки, що робить

електромобіль більш зручним для користувачів.

Завдяки цим покращенням Hyundai Kona Electric другого покоління отримав ефективнішу, довговічнішу та зручнішу у використанні акумуляторну батарею, що робить його ще більш привабливим серед електромобілів свого класу.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено наступне:

- Hyundai Kona Electric другого покоління отримав покращену акумуляторну батарею, що забезпечує більшу ємність та збільшений запас ходу;
- застосована оптимізована система керування батареєю (BMS), яка покращує балансування осередків та зменшує деградацію акумулятора;
- впроваджена підтримка заряджання змінним струмом (AC) з потужністю 11 кВт та постійним струмом (DC) з потужністю 105 кВт, що скорочує час зарядки;
- проаналізовано сумісність зарядних портів Hyundai Kona Electric із зарядною інфраструктурою в різних регіонах, визначено основні стандарти зарядних роз'ємів;
- визначено, що оптимальний температурний режим акумулятора (25-30°C) дозволяє досягати максимальної швидкості заряджання та зменшити втрати енергії при низьких і високих температурах;
- температурний режим є одним із ключових факторів, що впливають на експлуатацію акумуляторної батареї. Відхилення від оптимального діапазону температур може знижувати швидкість заряджання та спричиняти прискорену деградацію акумуляторних елементів.

Отримані результати показують, що Hyundai Kona Electric є конкурентоспроможним електромобілем, здатним ефективно використовувати сучасні зарядні технології. Результати дослідження можуть бути корисними для споживачів, розробників зарядної інфраструктури та виробників акумуляторних систем.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Zoryna, T. G., Aliaksandrovich, S. A., Valeeva, Y. S., Kalinina, M. V., Ilikova, L. E., & Suvonovich, E. Y. (2022, June). Measures to stimulate the development of electric transport as a tool for the development of the territory. In 2022 8th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE) (pp. 1-7). IEEE.
2. Plakhtii, O., Prokhorova, V., Bagach, R., Zhuchenko, O., Yermilova, N., & Perets, K. (2023, October). Research of Accumulator Blocks of Electric Vehicles and Charging Station Based on Current Source Rectifier. In 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) (pp. 1-6). IEEE.
3. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Ponikarovska, S., Hnatova, H., & Novichonok, S. (2020). Determining the Quality of Electric Motors by Vibro-Diagnostic Characteristics. EAI Endorsed Trans. Energy Web, 7(29), e6.
4. Joshi, A., Sharma, R., & Baral, B. (2022). Comparative life cycle assessment of conventional combustion engine vehicle, battery electric vehicle and fuel cell electric vehicle in Nepal. Journal of Cleaner Production, 379, 134407.
5. Arhun, S., Hnatov, A., Sokhin, P., & Kunicina, N. (2025). Autonomous Power Sources for Electric Vehicles and Their Charging Infrastructure. Energy Storage, 7(1), e70121.
6. Hnatov, A., Arhun, S., Sokhin, P., & Ulianets, O. (2024). Research of the main electromagnetic parameters during the operation of an AC charging station for electric vehicles. Automobile Transport, (54), 42–50. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2024.54.0.05>
7. Arhun, S., Hnatov, A., Hnatova, H., Patlins, A., & Kunicina, N. (2020, November). Problems that have arisen in universities in connection with COVID-19 on the example of the Double Degree Master's Program "Electric Vehicles and Energy-Saving Technologies". In 2020 IEEE 61th international scientific conference on power and electrical engineering of Riga Technical university (RTUCON) (pp. 1-6). IEEE.
8. Zabasta, A., Peuteman, J., Kunicina, N., Kazymyr, V., Hvesenya, S., Hnatov, A., ... & Ribickis, L. (2020). Research on cross-domain study curricula in cyber-physical systems: A case study of Belarusian and Ukrainian Universities. Education Sciences, 10(10), 282.
9. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. Automobile Transport, (53). P.37-50. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05
10. Аргун, ІІ. В., Гнатов, А. В., & Ульянець, О. А. (2016). Екологічний та енергоефективний

- атомобільний транспорт та його інфраструктура. № 2 (77), 18–27. Argun, Sh. V., Hnatov, A. V., & Ulianets, O. A. (2016). Ekolo-hichniy ta enerhoefektyvnyi avtomobilnyi transport ta yoho infrastruktura [Ecological and energy-efficient automotive transport and its infrastructure]. No. 2 (77), 18–27. [in Ukrainian]
11. Haiyan, Z., Dawei, C., & Yu, L. (2022, April). Research on key influencing factors of endurance mileage of battery electric vehicle. In 2022 7th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE) (pp. 235-239). IEEE.
 12. Kremzow-Tennie, S., Hellwig, M., & Pautzke, F. (2020, December). A study on the influencing factors regarding energy consumption of electric vehicles. In 2020 21st International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM) (pp. 1-6). IEEE.
 13. Linru, J., yuanxing, Z., taoyong, L., xiaohong, D., & jing, Z. (2020, December). Analysis on charging safety and optimization of electric vehicles. In 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC) (pp. 2382-2385). IEEE.
 14. Lv, X., Chang, X., Wang, J., Li, D., & Meng, X. (2023, December). Research on Charging Control of Electric Vehicle Charging Station Based on New Energy Consumption. In 2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2) (pp. 76-80). IEEE.
 15. Zheng, K., Teng, S., & Zhao, Y. (2023, July). Research on Optimal Scheduling Strategy for Electric Vehicle Charging and Discharging Based on Time-of-Use Electricity Price. In 2023 6th Asia Conference on Energy and Electrical Engineering (ACEEE) (pp. 519-524). IEEE.
 16. Chen, F., Li, F., Hong, R., Guo, M., Dai, Z., & Mo, R. (2022, February). Research on sequential charging control strategy considering charging continuity of electric vehicle. In 2022 12th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE) (pp. 96-101). IEEE.
 17. Wang, D., Shi, Q., Kong, W., & Dai, H. (2023, December). Research on the Development of Electric Vehicles and Vehicle to Grid. In 2023 4th International Conference on Advanced Electrical and Energy Systems (AEES) (pp. 614-619). IEEE.
 18. Miao, T., Zhang, W., Zhou, Y., & Xiao, J. (2024, June). Research on the hierarchical scheduling model of Vehicle-to-grid electric vehicles. In 2024 6th International Conference on Energy Systems and Electrical Power (ICESEP) (pp. 1478-1481). IEEE.
 19. Zhichun, Y., Yu, S., & Fan, Y. (2021, December). Research on Orderly Charging Strategy of Electric Vehicles Based on Intelligent Fusion Terminal. In 2021 International Conference on Power System Technology (POWERCON) (pp. 2210-2214). IEEE.
 20. Представляємо абсолютно нову KONA другого покоління. (n.d.). <https://hyundai.com.ua/node/5518/> Predstavliaiemo absoliutno novu KONA druhoho pokolinnia. (n.d.). [Introducing the all-new second-generation KONA]. <https://hyundai.com.ua/node/5518/> [in Ukrainian].
 21. Тест Hyundai Kona Electric – офіційний і далекобійний. (n.d.). <https://hyundai.com.ua/node/2804> Test Hyundai Kona Electric – ofitsiinyi i dalekobiinyi. (n.d.). [Hyundai Kona Electric test – official and long-range]. <https://hyundai.com.ua/node/2804> [in Ukrainian].
 22. EV charging connectors: A comprehensive guide. (n.d.). MAAS Middle East. <https://maas-middleeast.com/ev-charging-connectors-a-comprehensive-guide/>
 23. Patlins, A., Kunicina, N., Hnatov, A., Arhun, S., & Hnatova, H. (2020). Development of a complex for laboratory and practical works based on a solar charging station for electric vehicles. In Transport Means-Proceedings of the International Conference (pp. 187-192).
 24. CCS, CHAdeMO, Type2, GB/T, SAE J1772 та інші літери: розбираємо стандарти зарядок. (n.d.). <https://nextcar.ua/news/ccs-chademo-type2-gbt-sae-j1772-i-drugie-bukvy-razbiraem-standarty-zaryadok/> CCS, CHAdeMO, Type2, GB/T, SAE J1772 ta inshi litery: rozbyraiemo standarty zaryadok. (n.d.). [CCS, CHAdeMO, Type2, GB/T, SAE J1772 and other letters: Understanding charging standards]. <https://nextcar.ua/news/ccs-chademo-type2-gbt-sae-j1772-i-drugie-bukvy-razbiraem-standarty-zaryadok/> [in Ukrainian].
 25. Що таке ємність акумулятора. (n.d.). <https://elektrovoz.com.ua/ua/blog/chto-takoe-emkost-akkumuljatora.html> Shcho take emnist akumuljatora. (n.d.). [What is battery capacity?]. <https://elektrovoz.com.ua/ua/blog/chto-takoe-emkost-akkumuljatora.html> [in Ukrainian].
 26. Схеми з'єднання акумулятора. (n.d.). <https://www.elwinn.com.ua/skhemy-soyedineniya-akkumulyatora/> Skhemy z'iednannia akumuljatora. (n.d.). Battery connection diagrams. <https://www.elwinn.com.ua/skhemy-soyedineniya-akkumulyatora/> [in Ukrainian]
 27. Миколайчук, І. П., & Стаценко, Д. В. (2020). Розрахунок та дослідження екологічного персонального транспортного засобу. І Всеукраїнська конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інноватика в освіті, науці та бізнесі: виклики та можливості», 290–294. Mykolaichuk, I. P., & Statsenko, D. V. (2020).

Rozrakhunok ta doslidzhennia ekolohichnoho personalnoho transportnoho zasobu [Calculation and research of environmental personal vehicle]. I All-Ukrainian Conference of Higher Education Applicants and Young Scientists "Innovation in Education, Science and Business: Challenges and Opportunities", 290–294. [in Ukrainian]

Аргун Щасяна Валіковна¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, e-mail: shasyana@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Гнатів Андрій Вікторович¹, д.т.н., проф., завідувач каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0667430887, e-mail: kalifus76@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Ульянець Ольга Анатоліївна¹, асистент каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0957336312, e-mail: olga.ulyanets@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9384-4557>

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

Research on the main technical characteristics and charging methods of the Hyundai Kona Electric

Abstract. Problem. The growing adoption of electric vehicles (EVs) necessitates an in-depth analysis of their technical characteristics and charging capabilities to ensure their efficient operation and integration into existing infrastructure. The Hyundai Kona Electric, as a compact crossover EV, has undergone significant improvements across its generations, particularly in battery capacity, charging speed, and power management efficiency. However, a systematic study comparing these changes and their impact on vehicle performance remains limited. **Goal.** This study aims to analyze the main technical characteristics and charging methods of the Hyundai Kona Electric to assess its operational capabilities, energy efficiency, and compatibility with charging infrastructure. A comparative analysis of the vehicle's generations is conducted, focusing on battery evolution, energy consumption improvements, and the efficiency of different charging methods. The research is based on the examination of technical documentation, scientific publications, and experimental studies to provide a comprehensive evaluation of the Hyundai Kona Electric's technological advancements. **Methodology.** The study is based on a comparative analysis of battery specifications, energy efficiency, and charging speed between different Hyundai Kona Electric generations. Various charging standards are examined, including Type 1 (J1772), Type 2

(Mennekes), CCS Combo 1 and 2, and CHAdeMO, considering their compatibility with home and public charging stations. Additionally, the impact of battery temperature on charging performance is evaluated to determine optimal operational conditions. **Results.** The findings highlight notable improvements in the second-generation Hyundai Kona Electric, including an increased battery capacity (65.4 kWh for the Long Range version) and extended driving range. The introduction of an optimized Battery Management System (BMS) enhances cell balancing and reduces battery degradation. Furthermore, the new model supports AC charging at 11 kW and DC fast charging at 105 kW, significantly reducing charging time compared to the previous generation. It is determined that maintaining a battery temperature range of 25–30°C optimizes charging efficiency and minimizes energy losses. **Originality.** This research provides a comprehensive evaluation of the technological progression of Hyundai Kona Electric, offering insights into improvements in battery technology and charging efficiency. It introduces an analytical framework for assessing the impact of battery capacity, temperature, and charging infrastructure on EV performance. **Practical value.** The results of this study are valuable for electric vehicle consumers, charging infrastructure developers, and battery manufacturers. The insights contribute to optimizing the charging process, selecting appropriate infrastructure, and improving user awareness regarding the efficient operation of Hyundai Kona Electric. This research supports the broader goal of accelerating EV adoption and advancing sustainable transportation solutions.

Key words: Hyundai Kona Electric, battery capacity, charging efficiency, Battery Management System, CCS, energy consumption, electric vehicle infrastructure.

Shchasyana Arhun¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 0993780451, e-mail: shasyana@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Andrii Hnatov¹, professor, Doct. of Science, Head of Vehicle Electronics Department, tel. +38 0667430887, e-mail: kalifus76@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Olha Ulianets¹, assistant professor of Vehicle Electronics Department, tel. +38 0957336312, e-mail: olga.ulyanets@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9384-4557>

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.