

## ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 504.05

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.0.168

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНА НЕБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ГІБРИДНОГО ТРАНСПОРТУ

Бажинов О. В., Кравцов М. М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Вимірювання електромагнітного поля в електромобілі показали, що воно удвічі більше, ніж у автомобіля з двигуном внутрішнього згорання, і не залежить від швидкості руху. Електромагнітне поле гібридного транспорту більше, ніж у електромобілі і має тенденцію залежності від швидкості руху.

*Ключові слова:* гібридний автомобіль, електромагнітне випромінювання, індукція, електромобіль.

**Вступ**

Магнітні поля (МП) від електротранспорту роблять суттєвий внесок в електромагнітну забрудненість навколишнього середовища. Міський, приміський і міжміський електротранспорт, що працює як на постійному, так і на змінному струмі, генерує магнітні поля в діапазоні часто з перевагою складників ультранизького (УНЧ: 0,001–10 Гц) і дуже низького частотних діапазонів (КНЧ: 10–300 Гц).

Визначено, що поряд з електротранспортом магнітні поля в 50–100 разів вищі, ніж на відстані, а всередині салонів, вагонів поїздів електричного транспорту рівень може підвищуватися у 2–3 тис. разів.

Основним запитанням у процесі вимірювання магнітного поля для дослідження його екологічної / біологічної значущості є запитання «що вимірювати?». Досі немає загальноприйнятого пояснення природи біологічних ефектів від слабких електромагнітних полів, що існують у довкіллі та впливу яких люди зазвичай зазнають удома, в автомобілі або на робочому місці. Ця сфера дослідження визначається значним розривом між експериментальними біологічними результатами й біофізичною теорією. Без загальновизнаного механізму взаємодії «біосистема – магнітне поле» не відомо, які характеристики поля (амплітуда, частота, поляризація, регулярність, форма хвилі тощо) можуть бути біологічно значущими. Отже, запитання «що вимірювати?» є відкритим.

**Аналіз публікацій**

У роботі [1] визначено явище електромагнітні поля (ЕМП) у транспортних засобах, їх

вплив на людину. Наведені джерела ЕМП, які мають місце в автомобілі, оснащеному двигуном внутрішнього згорання, а також у електромобілі та гібридному транспортному засобі.

Вимірювання та оцінювання ЕМП, їх значення і топологія в електричному автомобілі є надалі актуальним науковим завданням. На сьогодні робіт про детальні електромагнітні вимірювання в гібридних автомобілях мало, а опубліковані статті з тестування ЕМП в повністю електричних автомобілях відсутні [3]. Підсумовування інформації та порівняння з показниками, отриманими з інших видів електричних транспортних засобів, допомогло виявити властиві для таких полів особливості. На відміну від синусоїдальних полів від ліній електричних передач (на частоті 50 або 60 Гц), електромагнітні поля в електричному транспорті (автомобілі) є мультимедійними частотними полями [5]. Вони є суперпозицією полів, що генеруються безліччю джерел на борту транспортного засобу. Також виявлено, що ЕМП в електромобілі є іррегулярні та швидко змінюються в часі та є вкрай неоднорідними в просторі салону автомобіля.

У роботі [2] досліджені дорожньо-транспортні моменти небезпеки руху. Подана оптимальна методика, установлені критерії джерел небезпек і реалізації функцій забезпечення належного інформування учасників дорожнього руху.

У праці [3] проаналізовані небезпеки впливу електромагнітних випромінювань транспортних засобів, елементи яких безпосередньо чи опосередковано впливають на виникнення ЕМВ: ступінь стиснення двигуна; пла-

стмасові та металеві дахи, крила, повітряні фільтри; розмір і форма електродвигуна, котушок запалювання, місця їх розташування; місця розміщення тягової акумуляторної батареї; якість і довжина високовольтних проводів; форми й довжина, ширина та висота моторного відсіку місця; відстань між колесами й мотором; електронні засоби й системи запалювання; механізми й пристрої радіопередачі та системи обчислення.

У дослідженні [4] наведений аналіз впливу ЕМВ транспортних засобів на пасажирів, водіїв і докільця. На думку вітчизняних дослідників (зокрема І. Кириченко), від 15 % до 45 % автомобілів мають рівень електромагнітних завад вищий від установлених норм. Водночас група автотранспортних засобів може створити рівень ЕМП, що набагато вищий, ніж від одного автомобіля.

Як свідчать наукові дослідження, зокрема [8], потужність електромагнітного випромінювання (ЕМВ) у певній вузькій смузі частот, наприклад у радіопередавачів, більша, ніж потужність ЕМВ такої самої смуги частот від систем запалювання. Електромагнітне поле, створене автомобілем, робить найбільший внесок в електромагнітне забруднення навколишнього середовища. Нормована напруженість ЕМП автомобіля не має перевищувати в діапазоні 30–1000 МГц значень 34 дБ [8].

Проблема ЕМП стала ще більш актуальною в умовах швидкого розвитку транспортних засобів. Сучасний електромобіль – це технічна конструкція з полегшеними його ходовими частинами та кузовом. Він є особливим транспортом із трансмісією та зручною для зміни тяговою акумуляторною батареєю. До електричного двигуна електромобіля від акумуляторної тягової батареї надходить постійний струм, що перетворюється на змінний струм крізь інвертор і систему тиристорних блоків управління. Електродвигун установлюється або спереду, або ззаду. Електрообладнання сучасних автомобілів працює в частотних діапазонах.

Природа ЕМП в електромобілі є значно складнішою, ніж в автомобілі, оснащеному двигуном внутрішнього згорання. В електромобілі ЕМП з високою щільністю енергії мають шкідливий вплив безпосередньо на організм людини. Збільшення кількості та потужності електрообладнання автомобілів, а також поява на міських автошляхах гібридних транспортних засобів спричинить значне

збільшення електромагнітного фону уздовж автомобільних доріг.

Основним джерелом електромагнітного поля в гібридних автомобілях є асинхронний електродвигун змінного струму промислової частоти 50 Гц і необхідний для його роботи перетворювач напруги – інвертор. Асинхронний електродвигун на гібридних автомобілях функціонує не тільки як мотор, він також виконує функцію генератора. На початку й під час руху на малих швидкостях електродвигун працює як мотор, а в процесі гальмування як генератор. З появою на дорогах гібридних автомобілів відбудеться підвищення показників електромагнітного поля на частоті 50 Гц, а також на частотах, обумовлених роботою перетворювача напруги [9].

Унаслідок концентрація значної кількості електричної потужної автомобільної електроніки зосереджується в межах невеликого за розмірами автотранспортного засобу. Крім того, батареї та силові кабелі в гібридах часто розташовані близько до водія та пасажирів, а отже, електричний струм, який приводить електродвигун гібридного автомобіля на малих швидкостях (і допомагає бензиновому мотору під час руху на трасі), створює магнітні поля, що за деякими дослідженнями [4] несуть ризик для здоров'я людини внаслідок впливу ЕМП. Збільшення джерел електромагнітного впливу розширює частотний діапазон ЕМП, що для гібридного автомобіля лежить у межах від 5 Гц до 1 ГГц.

### Мета та постановка завдання

Метою роботи є зменшення електромагнітного забруднення навколишнього середовища транспортними засобами шляхом оцінювання електромагнітної безпеки електро- й гібридних автомобілів на етапі їх експлуатації, а також удосконалення методів визначення електромагнітного випромінювання залежно від умов роботи.

Для дослідження поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- науково обґрунтувати створення нових методів оцінювання електромагнітної безпеки електро- й гібридних автомобілів на підставі системного аналізу використання електромобілів і гібридних для підвищення їх електромагнітної безпеки на етапі експлуатації;
- розробити узагальнену модель оцінювання електромагнітної небезпеки параметрів електро- та гібридних автомобілів.

### Вплив електромагнітного випромінювання транспортних засобів

У всіх типах транспортних засобів є зовнішні електромагнітні поля, зокрема магнітні поля (МП) Землі та різні ЕМП від різних бортових електронних пристроїв електричних і гібридних транспортних засобів. Усі транспортні засоби завдяки своїм конструктивним особливостям генерують суттєві внутрішні ЕМП в широкому діапазоні частот. Електрообладнання, наявне в електромобілях і гібридних автомобілях, є джерелом змінного ЕМП і має сильну тимчасову та просторову неоднорідність у діапазоні частот від 1 Гц до сотень мегагерців. З екологічного боку найбільш важливою в транспортному засобі є магнітний складник ЕМП, оскільки саме він може спричинити негативні наслідки для здоров'я пасажирів і водіїв у транспортних засобах. МП становлять ризики для електромагнітної сумісності різних видів електротехнічних засобів і електронних пристроїв електро- та гібридного транспорту.

Тому вимірювання, оцінювання та визначення МП, їх топологія в електричному та гібридному транспортному засобі є актуальним завданням дослідження. Робіт про детальні магнітні вимірювання в гібридному транспорті незначні, а опубліковані статті з тестування МП у повністю електричних автомобілях практично відсутні. Але аналіз деякої порівняної інформації щодо інших видів транспортних засобів дало змогу провести та виявити властиві їм електромагнітні ознаки.

Порівняння відомих на сьогодні відомостей, отриманих для інших видів електричного транспорту, допомогло виявити особливості ЕМП. На відміну від синусоїдальних полів від ліній передач (на частоті 50 або 60 Гц), ЕМП в електричному автомобілі є мультичастотними полями, тобто вони є суперпозицією полів, що генеруються безліччю джерел на борту автомобіля. Крім того, виявлено, що МП в електромобілі є іррегулярні, швидко змінюються в часі та є вкрай неоднорідними в просторі салону.

Перелічені властивості МП в електричному транспортному засобі (електромобілі, гібриді) ускладнюють докладні та точні вимірювання цих полів у салоні автомобіля, що рухається. Для коректних вимірювань полів і їх градієнтів у салоні і в безпосередній близькості від електромобіля необхідно брати до уваги значну просторову неоднорідність цих полів, адитивну індустріальну перешкоду, а також природне постійне та змінне геомагні-

тне поле в тому самому діапазоні частот [2, 8].

Для моніторингу електромагнітних полів у салоні транспортного засобу (електромобіля та гібриду), а також пошуку просторово сильної неоднорідності магнітного поля та побудови 3D-топології необхідно використовувати численні рівномірно розподілені датчики магнітних полів. Для вирішення цього завдання пропонується впроваджувати метод тестування магнітних полів в електромобілі, що ґрунтується на диференційних методах вимірювання.

Одним із диференційних методів є фазово-градієнтний метод, уперше запропонований для дослідження підсилювачів ультранизьких частот ( $F = 0,001\text{--}100$  Гц) геомагнітних варіацій. Зазначений метод дає змогу за трьома трикомпонентними магнітними датчиками, розташованими трикутником на невеликій відстані один від одного (магнітний градієнтметр), побудувати вектор градієнтів і фазових швидкостей магнітних варіацій для будь-якої з трьох компонент МП. Вектори градієнтів геомагнітних хвиль, як правило, спрямовані до локального джерела пульсацій, а вектори фазових швидкостей – від джерела.

Граденти та фазові швидкості магнітних варіацій можна визначати за фазами затримок і різницею величин амплітуд варіацій між двома будь-якими парами магнітного градієнтметра, що має три розкидані датчики. Оскільки координати магнітних датчиків і відстань між ними відома, то можна визначити градієнти й фазові швидкості для двох пар датчиків, обраних з трьох датчиків магнітного градієнтметра, і потім побудувати вектор фазової швидкості та градієнта варіацій таким чином:

- для вектора фазової швидкості:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \arctg \frac{V_{12} \cos(a_1) - V_{13} \cos(a_2)}{V_{12} \sin(a_1) + V_{13} \sin(a_2)} \\ V = V_{12} \cos(\alpha + a_1) \end{array} \right\}, \quad (1)$$

- для вектора градієнта:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \arctg \frac{G_{13} \cos(a_1) - G_{12} \cos(a_2)}{G_{12} \sin(a_1) + G_{13} \sin(a_2)} \\ G = G_{12} / \cos(\alpha + a_1) \end{array} \right\}. \quad (2)$$

У виразах (1)–(2)  $V_{12}$ ,  $V_{13}$ ,  $G_{12}$ ,  $G_{13}$  – величини фазових швидкостей і градієнтів у напрямку між парами трикомпонентних

магнітних датчиків 1 і 2, 1 і 3; напрямок відповідного вектора щодо заданої осі ( $V$  і  $G$  – величини фазової швидкості та градієнта). Кути  $a_1$  і  $a_2$  визначаються координатами магнітних датчиків 2 і 3 (базовий датчик 1 розташований на початку системи координат):  $a_1 = \arctg n$

$$\left( \frac{x_2}{\gamma_2} \right), a_2 = \arctg \left( \frac{x_3}{\gamma_3} \right). \quad (3)$$

Градієнти й фазові швидкості можуть бути виражені також іншими функціями [4]. Використання виразів (1)–(2) у цьому методі має достатньо хорошу синхронізацію роботи всіх трьох магнітних датчиків (якщо інформація не записується в один багатоканальний аналого-цифровий перетворювач) і високу дискретність реєстрованих показників.

У межах моделі плоскої електромагнітної хвилі величина фазової швидкості між двома точками визначається амплітудами відповідних компонент варіацій МП з огляду на фазову затримку в такий спосіб:

$$V_{12} = \frac{2\pi d_{12}}{T \ln [B_1(t) / B_2(t + \tau)]}. \quad (4)$$

У виразі (3) для магнітних варіацій з періодом  $T$  величини  $B_1$  і  $B_2$  визначаються в момент часу  $t$  на першій станції та момент часу на другій станції (фазова затримка в процесі проходження магнітною хвилею відстані  $d_{12}$  між двома станціями). Після визначення за (3) фазових швидкостей  $V_{12}$  і  $V_{13}$  можна потім скористатися виразами (1) для встановлення напрямку й величини вектора фазової швидкості електромагнітних хвиль. У застосуванні цього методу як величини  $B_1$  і  $B_2$  можуть бути використані середньоквадратичні значення амплітуд.

Фазово-градієнтний метод застосовується для вимірювання магнітних полів в електромобілі. Позначимо величину та градієнт магнітного поля, створюваного електрообладнанням електромобіля у певній точці всередині салону як  $B_1$  і  $\Delta B_1$ , а величину поля та градієнт зовнішніх джерел (індустріальна перешкода й природне постійне та змінне геомагнітне поле) як  $B_2$  і  $\Delta B_2$ .

Нехай  $\Delta B_1$  набагато більша ніж  $\Delta B_2$ , тоді різниця полів у двох точках всередині салону з великою точністю матиме такий вигляд:

$$\Delta B = (B_1 + \Delta B_1 + B_2 + \Delta B_2) - (B_1 + B_2) = \Delta B_1 + \Delta B_2 \approx \Delta B_1$$

$$\Delta B = (B_1 + \Delta B_1 + B_2 + \Delta B_2) - (B_1 + B_2) = \Delta B_1 + \Delta B_2 \approx \Delta B_1,$$

тобто різниця  $\Delta B$  магнітних полів у двох точках усередині салону є градієнтом внутрішніх джерел електромобіля, а зовнішні поля виключаються.

Джерела змінного ЕМП в електромобілях мають невеликі розміри, і їх можна розглядати як випромінювальні точкові диполі, поля від яких загасають із відстанню за кубічним законом. Тому градієнти ЕМП усередині електромобіля на відстанях до декількох метрів мають бути досить значні. Справді, як було показано прямими вимірюваннями в гібридному автомобілі «Крайслер», просторові градієнти досягали до 1 Гс/м (100 мкТл/м). Водночас градієнти зовнішніх джерел малі у зв'язку з їх віддаленістю та великими розмірами.

Для того щоб виявити топологію МП в електромобілі, зважаючи на його крайню просторову неоднорідність, датчики в салоні мають розташовуватися досить щільно, тобто необхідно, щоб їх кількість була не меншою ніж 10–20 (рівномірно на відстані десятка сантиметрів на рівні підлоги, на рівні голови водіїв і пасажирів і т. д.).

Для зменшення кількості датчиків пропонується використовувати фазово-градієнтний метод. Оскільки ми припускаємо, що МП від внутрішніх джерел змінюються з відстанню, як поле диполя, то можемо застосовувати цей метод для побудови тривимірного розподілу МП всередині салону. У цьому разі мінімальна кількість трикомпонентних магнітних датчиків дорівнює чотирьом. Три з них утворюють трикутник (наприклад, два датчики на спинках сидінь і один поблизу двигуна / батареї), необхідний для вимірювання полів і градієнтів у площині трикутника, четвертий піднятий догори або опущений донизу для побудови градієнтів, спрямованих вертикально. У піраміді можна виокремити чотири трійки датчиків. Використовуючи ці трійки, є ймовірність побудувати чотири вектори градієнтів МП. Величина й напрямок цих векторів дає змогу інтерполювати МП на весь салон електромобіля.

На рис. 1 зображена приблизна схема розташування мінімальної кількості датчиків (чотири сенсори) у площині підлоги автомобіля (рис. 1, а) і в поздовжньому перетині, перпендикулярному підлозі (рис. 1, б).

Практичну точність методу необхідно визначити експериментально.

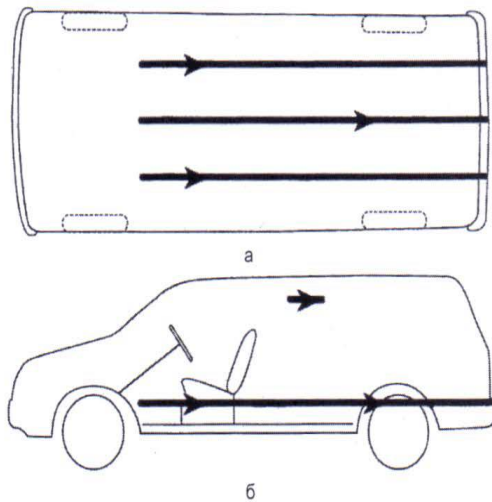


Рис. 1. Схема розташування мінімальної кількості датчиків для вимірювання магнітного поля та його просторових градієнтів в електричному автомобілі: вигляд зверху (а); вигляд збоку (б) (стрілки показують позиції датчиків)

#### Експериментальне дослідження електромагнітного випромінювання в транспортних засобах

Електромагнітне забруднення міського середовища від автотранспортних засобів характеризується електромагнітними полями. Значення ЕМП залежно від інтенсивності руху автотранспорту наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники електромагнітного поля транспортного засобу

Інтенсивність руху	Частотний діапазон					
	5 Гц – 2 кГц		2 кГц – 400 кГц		50 Гц	
	Характеристики ЕМП					
	Е, В/м	І, мкТл	Е, В/м	В, мкТл	Е, В/м	В, мкТл
40 АТЗ/хв.	7	0.1	0.3	1	2	2
60 АТЗ/хв.	16	0.3	0.9	1	6	3

Вимірювання магнітних і електричних полів проводилося із застосуванням ізотропних зондів для діапазону від 100 кГц до

60 ГГц. Великий графічний дисплей дає змогу легко зчитувати результати. Простота використання була реалізована завдяки інтелектуальному інтерфейсу, що забезпечує автоматичне визначення параметрів підключеного зонда. Можливість збереження – до 5000 результатів вимірювань.

Завдяки приладу для вимірювання електромагнітних полів *Narda NBM-550* отримані дуже точні результати вимірювань неіонізуючих випромінювань. *Narda NBM-550* охоплює всі частоти – від довгохвильових до мікрохвильових випромінювань (табл. 2). Прилад для вимірювання постійного та змінного електромагнітного поля *Narda NBM-550* застосовується для перевірки відповідності вимогам стандартів безпеки людини.

Таблиця 2 – Результати вимірювань магнітних та електромагнітних полів

Місто вимірювань	Вимірювання магнітного поля (А / Г)	Вимірювання електромагнітного поля (мкВт / см <sup>2</sup> )	Відповідність нормативним документам (+ -)
Двигун	0,27	0,75	-
Акумулятор	0,02	9,45	-
Пасажир-місто	0,565	15,4	-

Як видно з результатів вимірювань (табл. 2), найбільше ЕМП спостерігається в кабіні автомобіля, де розташований пасажир. Відповідно до ДСНіП № 239-96 норма становить 2,5 мкВт/см<sup>2</sup>. Європейські стандарти *FCC* та *ANSI/IEEE C.1-1992* допускають показник 1,5 мкВт/см<sup>2</sup>.

Нижче наведено методику вимірювань магнітної індукції автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння, електро- і гібридних автомобілів. Структурна схема вимірювань зображена на рис. 2.

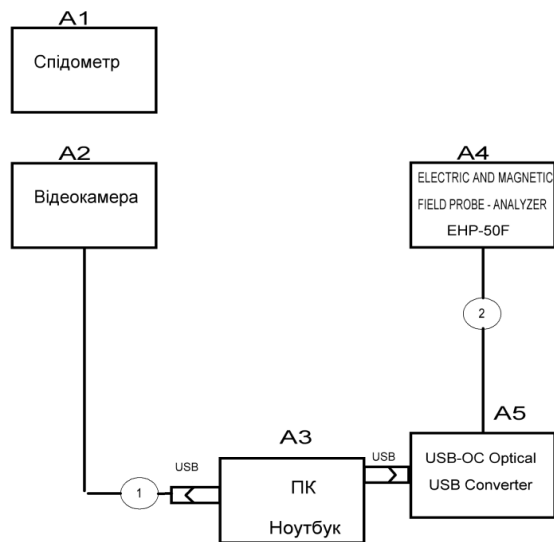


Рис. 2. Схема вимірювань електромагнітного випромінювання в транспорті

Вимірювання швидкості автомобіля здійснювалося штатним спідометром автомобіля *A1*. Фіксація показників швидкості відбувалася з допомогою відеокамери *A2* на комп'ютер – ноутбук *A3*. Використовувався прилад вимірювання магнітної індукції *A4* типу *EHP-50F*. Результати вимірювання індукції через оптичний кабель 2 і перетворювач *A5* надходили на комп'ютер, індикувались на дисплеї у вигляді спектра в діапазоні 0–100 Гц і записувалися у файл за допомогою програми запису з екрана комп'ютера.

Вимірник індукції малих магнітних полів типу *EHP-50F* – низькочастотний зонд-аналізатор ізотропного електричного та магнітного поля. Він реалізує передові технологічні рішення для аналізу поля в діапазоні частот від 1 до 400 кГц у надзвичайно високому динамічному діапазоні. Крім того, одночасно вимірює по осях *X*, *Y* та *Z* за допомогою потужного вбудованого аналізатора спектра *EHP-50F*, що може використовуватися як із портативним польовим вимірником *NBM-550*, так і з персональним комп'ютером (ПК). Забезпечується автономний режим роботи безперервного збору інформації до 24 год. *EHP-50F* містить незалежну пам'ять, в якій зберігаються таблиці калібрування частоти й рівня та внутрішній оптичний повторювач, що дає змогу підключатися до зовнішніх пристроїв через оптичне волокно. Спектральний аналіз, отриманий з допомогою *DSP*, виконується на восьми різних значеннях діапазону час-

тот і виводиться на монітори ПК або *NBM-550*.

Електричне або магнітне поле вловлюється трьома датчиками на ортогональних осях *X*, *Y* і *Z*. Далі відбувається аналого-цифрове перетворення сигналу на числову інформацію, опрацьовану блоком цифрового оброблення сигналу.

Типовий спектр показано на рис. 3. У процесі аналізу використовувалася амплітуда й частота магнітної індукції першої гармоніки, зазначені внизу поданого графіка.

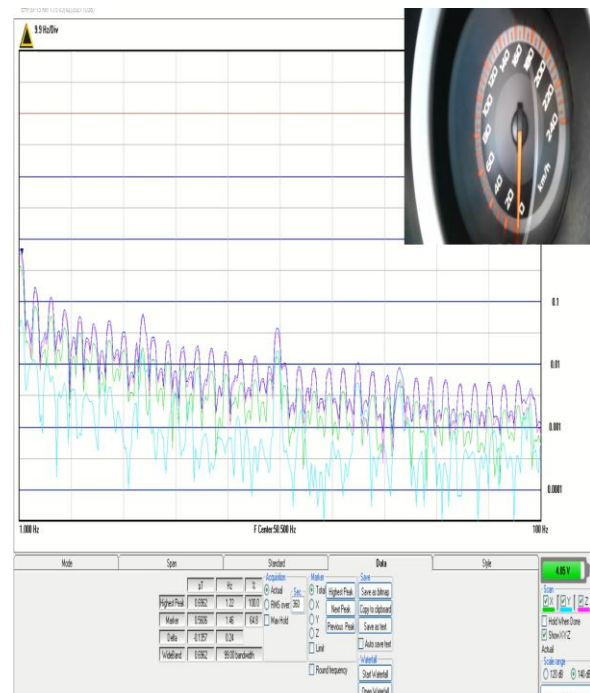


Рис. 3. Спектр коливань магнітної індукції та результати вимірювань

Після завершення експерименту відеофайли переглядалися та записувалися їх результати. Показники з частотою мережі 50 Гц вилучалися як помилкові. Після цього було проведено їх статистичний і кореляційний аналіз.

Дослідження автомобіля *Lancer 10* із двигуном внутрішнього згоряння показали, що середнє значення індукції магнітного поля становить  $0,43 \pm 0,12$  мкТл. Коефіцієнт покриття  $K=2,0$  за довірчої ймовірності  $P=0,95$ . Індукція магнітного поля залежить від швидкості руху.

Середнє значення індукції магнітного поля всередині автомобіля дорівнює  $0,85 \pm 0,18$  мкТл; коефіцієнт покриття  $K=2$  за довірчої ймовірності  $P=0,95$ .

Індукція магнітного поля в електромобіля удвічі більша, ніж у автомобіля з двигуном внутрішнього згорання та не залежить від швидкості руху.

Індукція магнітного поля в процесі заряджання на парковці біля електромобіля та всередині значно менша, ніж під час руху (0,85 мкТл).

Середнє значення індукції магнітного поля всередині електромобіля за умови швидкого заряджання акумулятора дорівнює  $0,12 \pm 0,02$  мкТл; коефіцієнт покриття  $K=2$  за довірчої ймовірності  $P=0,95$ .

### Висновки

Результати дослідження свідчать про те, що електрообладнання в електротранспорті, зокрема в електромобілі та гібридному автомобілях, є джерелом змінного ЕМП, які мають сильну тимчасову та просторову неоднорідність у діапазоні частот від 0 до сотень мегагерців.

У базового автомобіля середнє значення індукції магнітного поля становить  $0,43 \pm 0,12$  мкТл. Коефіцієнт покриття  $K=2,0$  за довірчої ймовірності  $P=0,95$ . Індукція магнітного поля залежить від швидкості руху.

Середнє значення індукції магнітного поля всередині електромобіля дорівнює  $0,85 \pm 0,18$  мкТл; коефіцієнт покриття  $K=2$  за довірчої ймовірності  $P=0,95$ .

Індукція магнітного поля в електромобіля удвічі більша, ніж у автомобіля з двигуном внутрішнього згорання, і не залежить від швидкості руху.

Індукція магнітного поля під час заряджання на парковці біля електромобіля та всередині значно менша, ніж у процесі руху (0,85 мкТл).

Середнє значення індукції магнітного поля всередині електромобіля за умови швидкого заряджання акумулятора дорівнює  $0,12 \pm 0,02$  мкТл; коефіцієнт покриття  $K=2$  за довірчої ймовірності  $P=0,95$ .

Електронні пристрої на борту, як правило, більш високочастотні, ніж МП, пов'язані зі змінами режиму руху електромобілів та гібридних автомобілів.

### Література

1. Бажинов О.В., Кравцов М.М., Ілічук О.В. Методика вимірювання впливу електромагнітних випромінювань автотранспортних засобів на людину та навколишнє середовище. *Вісник ХНАДУ*. 2019. Вип. 86. Т. 1. С. 66–73.
2. Бажинов О.В., Кравцов М.М. Небезпека транспортних засобів: монографія. Харків: ЧП Ста-

риченко Л.А., 2022. 160 с. URL:

<https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/6638/1/BazhynovKravtsovNebezpekaTransportnykhZasobivM22.pdf>.

3. Бажинов О.В., Кравцов М.М. Електромагнітне випромінювання гібридних автомобілів. Ways to improve the economic and environmental indicators of motor vehicles. Energy saving technologies Ways to improve the economic and environmental indicators of motor vehicles. Energy saving technologies. DOI: 10.30977/VEIT.2022.21.0.04.
4. Филенко В.В., Будянська Е.М. Електромагнітне забруднення біосфери автотранспортом (автомобілі, гібридні автомобілі). *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*. 2010. № 893. 7 с.
5. Wolfgang, Maes. Stress durch Strom und Strahlung / Institut fuer Baubiologie und Oekologie. Neubeuren, 2004. 800 s.
6. Al't V.V., Savchenko O.F. Innovatsionnoe razvitie APK na osnove informatsionnykh resursov. Достижения науки и техники APK. 2009. № 10. С. 25–29.
7. Titov E.V., Migalev I.E. Metodika kontroly elektromagnitnoe obstanovki na ob"ektakh APK. *Vestnik KrasGAU*. 2012. № 7. S. 136–138.
8. SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03. Gigienicheskie trebuvaniy do personalnym elektronnychislitel'nym mashinam i organizatsii raboty. Vved. 2003-06-30. M.: Izd-vo standartov, 2003. 27 s.
9. SanPiN2.1.2.1002-00. Sanitarno-epidemiologicheskie trebuvaniya do zhilykh daniv i pomesheniym. Vved. 2001-07-01. M.: Izd-vo standartov, 2001. 13 s.

### References

1. Bazhynov, O.V., Kravtsov, M.M., Ilichuk, O.V. (2019). Methods for measuring the effect of electromagnetic radiation of motor vehicles on humans and the environment. *Bulletin of KhNADU*, issue 86.
2. Bazhynov, O.V., Kravtsov, M.M. (2022). Danger of vehicles: monograph. Kharkiv: PE Starichenko L.A. 160 p. <https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/6638/1/BazhynovKravtsovNebezpekaTransportnykhZasobivM22.pdf>.
3. Electromagnetic radiation of hybrid cars. Ways to improve the economic and environmental indicators of motor vehicles. Energy saving technologies Ways to improve the economic and environmental indicators of motor vehicles. Energy saving technologies DOI: 10.30977/VEIT.2022.21.0.04.
4. Filenko, V.V., Budianska, E.M. (2010). Electromagnetic pollution of the biosphere by motor transport (cars, hybrid cars). *Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University*, no. 893, 7 s.
5. Wolfgang, M. (2004). Stress durch Strom und Strahlung / Institut fuer Baubiologie und Oekologie. Neubeuren, 800 s.

6. Al't, V.V., Savchenko, O.F. (2009). Innovatsionnoe razvitie APK na osnove informatsionnykh resursov. *Dostozhdeniya nauki i tekhniki APK*, no. 10, s. 25–29.
7. Titov, E.V., Migalev, I.E. (2012). Metodika kontroly elektromagnitnoe obstanovki na ob"ektakh APK. *Vestnik KrasGAU*, no. 7, s. 136–138.
8. SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03. Gigenicheskie trebuvaniy do personalnym elektronnykh mashinam i organizatsii raboty (Sanitary Standard on personal electronic equipment and organization of work). Vved. 2003-06-30. M.: Izd-vo standartov, 2003, 27 p.
9. SanPiN 2.1.2.1002-00. Sanitary-epidemiological requirements for living quarters and premises. Vved. 2001-07-01. M.: Izd-vo standartov, 2001, 13 p.

**Бажинів Олексій Васильович**, д.т.н., професор кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. Говорущенка М. Я., alexey.bazhinov@gmail.com, тел. +(380) 99-658-51-01, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5755-8553>,

**Кравцов Михайло Миколайович**, к.т.н., доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності Super-mikvich@ukr.net, тел. +(380) 99-205-56-57, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3218-2182>. Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### Electromagnetic danger of electric and hybrid vehicles

**Abstract. Problem statement.** In electric and hybrid transport, passengers sit very close to the electrical system of considerable power, usually for a considerable time. People are concerned about the level of frequency, intensity of electromagnetic radiation, and the time spent in transport. The relatively high currents achieved in these systems and the short distances between power devices and passengers mean that the latter can be exposed to the corresponding magnetic fields. **This means** that there is a need to assess the electromagnetic environment inside these vehicles before they are put on the market. When designing electric and hybrid vehicles and their components, it is necessary to take into account the hazards of magnetic field exposure to drivers, passengers and the environment. The aim is to study the effect of electromagnetic radiation on people and improve the efficiency of vehicle operation by assessing the electromagnetic safety of electric and hybrid vehicles at the stage of their operation, as well as to improve methods for assessing electromagnetic radiation depending on operating conditions. **Methodology.** Methods are a systematic approach to research, protection against electromagnetic radiation in transport, conducting measure-

ments of electromagnetic radiation in electric and hybrid transport, finding out the spatially strong inhomogeneity of the magnetic field and building 3D topology using numerous uniformly distributed magnetic field sensors in the vehicle interior, i.e. by a differential phase-gradient method for the study of ultra-low frequency amplifiers from 0.001 - 100 Hz of geomagnetic variations, a method of testing magnetic fields. This method allows using three three-component magnetic sensors arranged in a triangle at a short distance from each other (magnetic gradiometer) to construct a vector of gradients and phase velocities of magnetic variations for any of the three components of magnetic fields. **As a result**, the phase-gradient method has found its application for measuring magnetic fields in electric and hybrid vehicles, as well as for detecting the topology of magnetic fields, taking into account their extreme spatial heterogeneity, the sensors in the cabin should be located quite densely, i.e., the number of sensors should be at least 10-20 (evenly at a distance of ten centimeters at floor level, at head level of drivers and passengers, etc.). **Scientific novelty:** the study of electrical equipment in electric and hybrid transport has shown that the source of electromagnetic fields, which have a strong temporal and spatial heterogeneity in the frequency range from 0 to hundreds of megahertz, that they are a superposition of fields from many sources (from electric motors, traction batteries, live elements, various electrical equipment (starting and braking resistance, group switches, rheostat units, electrical circuits for ventilation, lighting, heating, etc.)). **Practical relevance.** The problems of determining the moment of occurrence of electromagnetic hazards in electric and hybrid vehicles are considered. It is established that electronic devices on board are usually higher in frequency than magnetic fields, which is associated with changes in traffic modes. Safety measures against electromagnetic radiation in electric and hybrid modes of transport are presented.

**Key words:** car, ultra-low frequency radiation, extremely low frequency radiation, low frequency radiation, electromagnetic pollution, electric vehicle, hybrid vehicle, environment.

**Bazhinov Olexsii**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical operation and service of automobiles Govorushchenko M.Y. National Technical University of Ukraine alexey.bazhinov@gmail.com, tel. +(380) 99-658-51-01,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5755-8553>,

**Kravtsov Mykhailo**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Metrology and life safety, Super-mikvich@ukr.net, tel. +(380) 99-205-56-57, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3218-2182>.