

ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ В ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Кравцов М. М.¹, Бажинов О. В.¹, Огар В. І.^{2,3}, Васильєва О. М.³,
Кекерчень М. А.³

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

²Харківський національний університет радіоелектроніки,

³ННЦ “Інститут метрології”

Анотація. У статті наводяться результати вимірювання значення та спектрів індукції магнітних полів у салоні автомобіля, електромобіля, гібридного автомобіля та електровелосипедів під час руху в реальній дорожній ситуації. В електромобілях поєднуються високі рівні струму, короткі відстані між електрообладнанням та пасажиром і великий час впливу.

Ключові слова: автомобіль, електричний та гібридний транспортний засіб, електровелосипеди, магнітне поле, невизначеність вимірювань.

Вступ

Електромагнітне поле (ЕМП) штучного походження є важливим екологічним фактором з високою біологічною активністю. З появою автомобілів із гібридними силовими установками та електромобілів виникли зміни в структурі джерел ЕМП. Особливістю цих джерел є створення рівномірної зони електромагнітного покриття як всередині автомобіля, так і зовні, що призводить до збільшення електромагнітного фону в навколишньому середовищі. Термін «глобальне електромагнітне забруднення навколишнього середовища» вперше почала використовувати з 1995 року Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ), яка внесла цю проблему до переліку таких, що є пріоритетними для людства.

Вплив електромагнітних полів (ЕМВ) на людину здійснюється від гібридних автомобілів та електромобілів, які поєднують високі рівні струму, короткі відстані між електрообладнанням та пасажиром і проміжок часу дії.

Аналіз публікацій

Джерелами ЕМП в гібридному та електромобілях є акумуляторна батарея, інвертор-перетворювач постійної напруги в змінний струм та трифазний електродвигун. Більшість комерційних автомобілів нині працюють з потужністю 50...200 кВт і напругою більше ніж 400 В. Потужність випромінювання електросилової установки є зміною і значною мірою залежить від умов експлуатації автомобіля [1].

Відстані між генераторами магнітного поля та пасажиром у більшості транспортних засобів відносно невеликі. Для типового електромобіля значення коливаються від 0,2 до 1,0 м залежно від розташування силових пристроїв та кабелів. Є відмінності між електричними та гібридними транспортними засобами [2]. Силова передача, електронні пристрої і пристосування гібридів складаються з більшої кількості обладнання на відміну від інших транспортних засобів, тому відстань між їхніми джерелами електромагнітного випромінювання (ЕМВ) та пасажиром є меншою. В автомобілях з переднім приводом електродвигун та інвертор розміщені в передній частині, а в автомобілях з заднім приводом – у задній. Оскільки для мінімізації опору повітря передня частина зазвичай довша, як порівняти із задньою, а відстань між передніми колесами і передніми сидіннями більша, то автомобілі з переднім приводом мають більшу відстань між силовими пристроями та найближчими пасажирами. Отже, за декілька десятків сантиметрів від пасажирів за умови сильного прискорення чи рекуперативного гальмування можуть текти струми в сотні ампер [3,5].

Аналіз вищезазначених даних вказує на наявність високих рівнів ЕМП гібридних та електромобілів. Але нормування ЕМП як фізичного фактора зовнішнього середовища здійснюється лише з метою санітарно-гігієнічного аналізу для людини, а екологічні нормативи для джерел ЕМП у нашій країні відсутні [4].

Мета та постановка завдання

Метою роботи є визначення рівня впливу ЕМП в автомобілях з електроприводом залежно від умов експлуатації.

Завдання дослідження:

вимірювання електромагнітної індукції гібридного та електромобіля залежності від швидкості руху;

визначення спектра коливань магнітної індукції у салоні автомобіля з електроприводом.

Дослідження електромагнітних полів

Головний критерій визначення рівня впливу ЕМП як рівень допустимого впливу не має викликати в людині часового порушення гомеостазу, а також напругу захисних та адаптаційно-компенсаторних механізмів в будь-який період часу.

Контроль рівня електромагнітного поля визначається за значенням його напруженості, а магнітного поля – за значенням магнітної індукції. Головним базовим параметром у закордонних нормативно-методичних документах для робочого діапазону частот силової установки гібридного та електромобіля є середня питома потужність, яка вимірюється у Вт/кг.

В європейських країнах допустиме значення випромінювання складає 2 Вт/кг, а в США не досягає 1,6 Вт/кг.

Для вимірювання магнітної індукції у салоні автомобіля використовувався аналізатор магнітної індукції типу NARDA EHP-50F, вимірювальний блок якого (рисунок 1) розташований на місці пасажира праворуч водія. EHP-50F вимірює електричне або магнітне поле трьома датчиками на ортогональних осях X, Y і Z з анізотропією вимірювань 0.12 dB. Блок цифрового оброблення сигналу забезпечує його аналого-цифрове перетворення та спектральний аналіз у діапазоні частот від 1 Гц до 400 кГц з нерівномірністю АЧХ ± 0.5 dB на восьми значеннях діапазону частоти в динамічному діапазоні від 10 мкТл до 100 мкТл (мікротесл) з роздільної здатністю 1 пТ і невизначеністю вимірювань, що дорівнює 5 %. Блок під'єднується за допомогою оптичного волокна з персонального комп'ютера.



Рис. 1. Зовнішній вид вимірювального блока EHP-50F

Структурна схема вимірювань магнітної індукції в електроавтомобілі наведена на рис. 2.

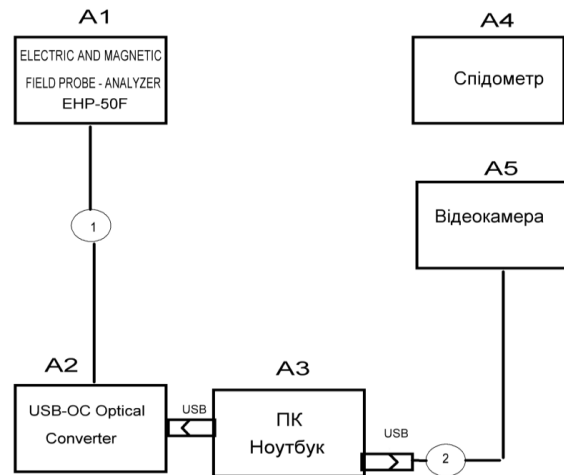


Рис. 2. Схема вимірювань

Інформація з блока вимірювань A1 за допомогою оптичного кабелю 1 та перетворювача A2 сигналів у USB-формат надходила до ноутбука A3. Результат вимірювань відображався на дисплеї ноутбука як спектр у діапазоні частот 1...100 Гц, цифрових даних частоти та рівня магнітної індукції. Вимірювання швидкості руху автомобіля здійснювали спідометром автомобіля A4. Фіксацію показань швидкості здійснювали відеокамерою A5, під'єднаною до другого USB-порту комп'ютера за допомогою кабелю 2. Результат вимірювань швидкості також з'являється на дисплеї ноутбука. Ці 2 результати вимірювань, а також мовні коментарі експериментаторів записувались у відеофайл формату mp4 за допомогою програми запису з екрана комп'ютера Aiseses of screen recorder. Після завершення експерименту (їзди трасою) записані файли аналізувались. Показання з частотою електричної мережі 50 Гц не використовувались. Після запису інформації було здійснено її статистичний і кореляційний аналізи.

Спочатку було здійснено поїздку автомобіля типу Lancet 10 з двигуном внутрішнього згорання з системою запалювання. Час руху 11 км в умовах міста становив 15 хв. Середня швидкість дорівнювала 43 км/год. Типовий графік спектра коливань магнітної індукції та показання спідометра автомобіля подані на рисунку 3. Як результат вимірювань використовувався найбільший рівень амплітуди магнітної індукції.

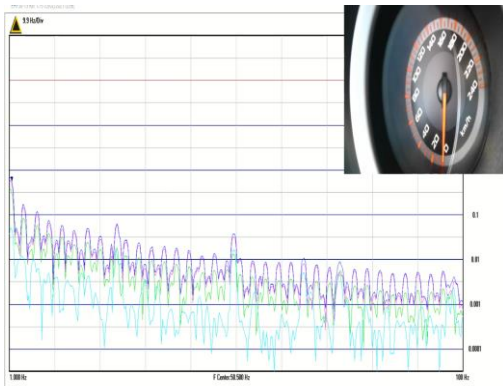


Рис. 3. Спектр коливань магнітної індукції у салоні автомобіля

Було здійснено статистичний аналіз даних і побудована гістограма, яка демонструє закон розподілу ймовірності, що майже дорівнює стандартному. Були розраховані коефіцієнти кореляції між масивами даних швидкості та індукції. Коефіцієнт кореляції швидкість/індукція становить $0,028 < 0,7$, це означає, що зазначені величини є статистично незалежними. Коефіцієнт кореляції частота/індукція дорівнює $-0,32 < 0,7$, тобто частота поля й індукція також є незалежними величинами. Значення індукції магнітного поля в салоні автомобіля з двигуном внутрішнього згоряння цієї моделі не залежить від швидкості руху та має середнє значення $B = 0,43 \text{ мкТл}$. Невизначеність вимірювань становить $0,12 \text{ мкТл}$ з коефіцієнтом покриття $K = 2$ за ймовірності $P = 0,95$. Середня частота першої гармоніки змінного магнітного поля дорівнює $2,57 \text{ Гц}$.

Під час експерименту було здійснено проведена поїздки електромобілем Nissan Leaf 2016 на відстань $12,8 \text{ км}$. Час в русі становив 20 хв , середня швидкість – 39 км/год . Типовий графік спектра коливань магнітної індукції та показання спідометра електромобіля наведені на рис. 4.

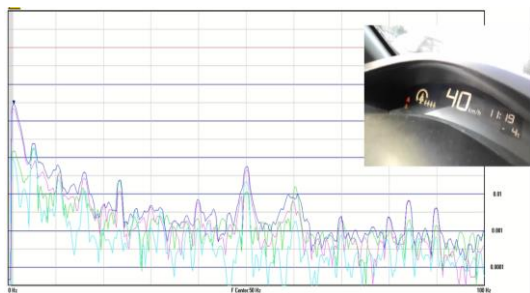


Рис. 4. Спектр коливань магнітної індукції і дані вимірювань у салоні електромобіля

Спектр на відміну від автомобіля має меншу кількість гармонік. Як результат вимірювань використовували найбільший рівень амплітуди індукції, який відповідає частоті першої гармоніки.

Коефіцієнт кореляції швидкість/індукція становив $0,058 < 0,7$, це означає, що зазначені величини є статистично незалежними. Коефіцієнт кореляції частота/індукція $0,4 < 0,7$ також незалежні величини. Значення індукції магнітного поля в салоні електромобіля цієї моделі не залежить від швидкості і має середнє значення $B = 0,85 \text{ мкТл}$, але збільшуються під час прискорення та гальмування електромобіля. Це значення порівняли зі значеннями змін магнітної індукції під час сильних магнітних бур (до $0,2 \text{ мкТл}$). Невизначеність вимірювань $0,17 \text{ мкТл}$ з коефіцієнтом покриття $K = 2$ за довірчої ймовірності становила $P = 0,95$. Середня частота змінного магнітного поля дорівнювала $4,3 \text{ Гц}$. Індукція магнітного поля в салоні електромобіля цієї марки вдвічі більше, як порівняти з автомобілем із ДВЗ.

Було здійснено вимірювання в автомобілі з гібридним двигуном. Час в русі становив 9 хв , середня швидкість – 55 км/год , довжина шляху – $8,6 \text{ км}$. Типовий графік спектра коливань магнітної індукції та показання спідометра гібридного автомобіля наведені на рисунку 5. Спектр має меншу кількість гармонік, як порівняти зі звичайним автомобілем. Як результат вимірювань використовували найбільший рівень амплітуди індукції.

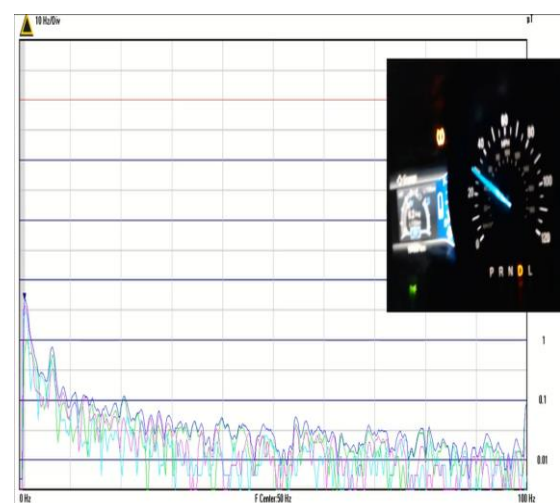


Рис. 5. Спектр коливань магнітної індукції у салоні гібридного автомобіля

Коефіцієнт кореляції швидкість/індукція 0,72 є більшим за модулем 0,7, це означає, що зазначені величини є статистично залежними, індукція в середньому зменшується зі збільшенням швидкості руху автомобіля. Середня частота 7,3 Гц, середнє значення індукції магнітного поля в салоні гібридного та електромобіля $B = 0,7$ мкТл. Невизначеність вимірювань 0,2 мкТл з коефіцієнтом покриття $K = 2$ за довірчої ймовірності $P = 0,95$.

Було здійснено вимірювання магнітної індукції у салоні електромобіля на місці пасажирів праворуч від водія під час зарядження від станції. Спочатку здійснювалось повільне зарядження з часом, що становив 3 хв. Параметри зарядження з'явилися на дисплеї мобільного телефону: напруга – 225,4 В, сила струму – 40А, потужність – 6,6 кВт. Частота першої гармоніки становила 10 Гц, спектр має більше гармонік, як порівняти з автомобілем, що вказує на зарядження імпульсами, тривалістю 0,1 с, значної щільності. Гармоніки повільно зменшуються. Було здійснено порівняльний аналіз індукції магнітного поля в салоні електромобіля цієї марки під час зарядження та індукції в електромобілі в процесі руху (0,85 мкТл).

Було також здійснено процес швидкого зарядження з напругою 373 В, силою струму 94,8А, потужністю 35кВт. Час зарядження становив 4 хв. Спектр (рис. 6) має більше гармонік, як порівняти з автомобілем, що вказує на зарядження короткими імпульсами значної щільності. Гармоніки повільно зменшуються.

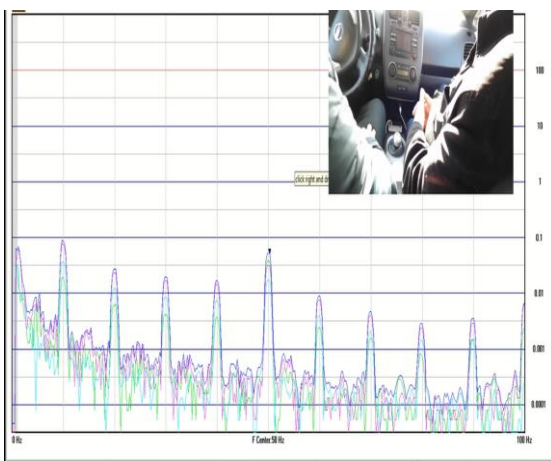


Рис. 6. Спектр коливань магнітної індукції у салоні за умови швидкого зарядження електромобіля

Середнє значення індукції магнітного поля в салоні електромобіля цієї моделі в про-

цесі швидкого зарядження становило 0,8 мкТл. Невизначеність вимірювань дорівнювала 0,2 мкТл.

З метою порівняльного аналізу було здійснено вимірювання індукції у метро та тролейбусі, а також під час руху електровелосипеда за схемою, що наведена на рисунку 3, без використання відеокамери, але з ввімкненим внутрішнім мікрофоном ноутбука для контролю зупинок під час запису. Індукції у метро і тролейбусі значно менші (приблизно 0,1 мкТл на частоті 50 Гц). Під час руху електровелосипеда індукція досягає 0,5 мкТл на частоті орієнтовно 1 Гц.

Висновки

Електромобілі та гібридні автомобілі мають більш високі рівні індукції, як порівняти з автомобілями з двигуном внутрішнього згорання. Згідно з результатами експериментів, значення магнітної індукції і їхні частоти в електромобілі не залежать від швидкості та мають середнє значення $B = 0,85$ мкТл, але збільшуються в процесі прискорення та гальмування електромобіля. Середня частота дорівнює 7,3 Гц, середнє значення індукції магнітного поля в салоні гібридного та електромобіля $B = 0,7$ мкТл. Отже, існує додаткова небезпека для водіїв, пасажирів і людей, які знаходяться поруч з цими автомобілями.

Визначений спектр коливань магнітної індукції у салоні автомобіля з електроприводом.

Стиль водіння значною мірою впливає на утворення магнітного поля в транспортних засобах, тому під час сильних прискорень і гальмувань водії та пасажирів транспортних засобів піддаватимуться впливу більш сильних магнітних полів.

Література

1. Гібридні автомобілі / О. В. Бажинов та ін. Харків: ХНАДУ, 2008. 327 с.
2. Глива В. А., Панова О. В., Кружилко В. О. Електричний транспорт як фактор електромагнітного забруднення міста. Екологічна безпека та природокористування. 2015. № 3. С. 13–18.
3. Кравцов М. М., Бажинов О. В. Електромагнітне випромінювання гібридних автомобілів. Автомобіль та електроніка. Ініноваційні технології. 2022. № 21. DOI:10.30977/VEIT.2022.21.0.04. С. 40–47.
4. Swiss Federal Office of Public Health, Cars, hybrid cars. – Technical Report, 2009 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/02377/index.html?>

5. Halgamuge M. N., Abeyrathne C. D., Mendis P. Measurements performed in electric trains – Comparison with ICNIRP Limit & Laboratory Experiments. Measurement and Analysis of Electromagnetic Fields from Trams, Trains and Hybrid Cars. Radiation Protection Dosimetry. 2010. V. 141. № 3. Pp. 255–268.
6. EN IEC 62764-1:2022. Методи вимірювання рівнів магнітного поля, створюваного електричним та електронним обладнанням автомобілів щодо впливу на людину. Частина 1. Низькочастотні поля.

References

1. Bazhinov, O. V., Smirnov, O. P., Syerikov, S. A., Hnatov, A. V., Kolesnikov, A. V. Hibraydni avtomobili.[Hybrid cars.] Kharkiv: Khnadu, 2008. 327 p.
2. Hlyva, V. A., Panova, O. V., Kruzhylo, V. O. Elektrichnyy transport yak faktor elektromahnitnoho zabrudnennya mista [Electric transport as a factor of electromagnetic pollution of the city]. Ecological safety and nature management. 2015. No. 3. Pp. 13–18.
3. Kravtsov, M. M., Bazhinov, O. V. Elektromahnitne vyprominyuvannya hibraydnykh avtomobiliv. [Electromagnetic radiation of hybrid cars]. Automobile and electronics. Innovative technologies. 2022. No. 21. DOI:10.30977/VEIT. 2022.21.0.04. P. 40–47.
4. Swiss Federal Office of Public Health, Cars, hybrid cars. Technical Report. 2009 [Electronic resource] – Access mode: <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/0005/3/00673/02377/index.html?>
5. Halgamuge, M. N., Abeyrathne, C. D., Mendis, P. Measurements performed in electric trains – Comparison with ICNIRP Limit & Laboratory Experiments. Measurement and Analysis of Electromagnetic Fields from Trams, Trains and Hybrid Cars. Radiation Protection Dosimetry. 2010. V. 141. № 3. Pp. 255–268.
6. EN IEC 62764-1:2022. Methods of measuring the levels of the magnetic field created by the electrical and electronic equipment of cars in relation to the impact on a person. Part 1. Low-frequency fields.

Кравцов Михайло Миколайович¹, к. т. н., доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, Харків, Україна; E-mail: Supermikvich@ukr.net; тел.: +(380) 99-205-56-57; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3218-2182>

Бажинів Олексій Васильович¹, д. т. н., професор кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів імені М. Я. Говорущенка,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, Харків, Україна; E-mail: alexey.bazhinov@gmail.com; контактний телефон: +(380) 98-337-94-45; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5755-855>

Огар Валерій Іванович², к. т. н., доцент, старший науковий співробітник кафедри комп'ютерної радіоінженерії та систем технічного захисту інформації,

Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна; старший науковий співробітник наукового центру Електромагнітних вимірювань НЦ-5 ННЦ «Інститут Метрології», Національний науковий центр «Інститут Метрології», вул. Мироносицька, 42, 61002, м. Харків, Україна; E-mail: valeriy.ogar@nure.ua; контактний тел.: (095) 104-34-50; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9489-2107>

Кекерчень Микола Анатолійович³, провідний інженер, ННЦ «Інститут Метрології» Науковий центр НЦ-5 Електромагнітних вимірювань, Національний науковий центр «Інститут Метрології», вул. Мироносицька, 42, 61002, м. Харків, Україна; E-mail: nikolajaak@gmail.com; контактний тел.: (095) 541-01 13.

Васильєва Олена Михайлівна³, к. т. н., директор наукового центру Електромагнітних вимірювань НЦ-5 ННЦ «Інститут Метрології», Національний науковий центр «Інститут Метрології», вул. Мироносицька, 42, 61002, м. Харків, Україна; E-mail: koropetc@ukr.net; Контактний тел.: (066) 462-8918.

Study of magnetic fields in electric vehicles

Abstract. This article presents the results of measuring the value and spectrum of magnetic field induction in the interior of a car, electric vehicle, hybrid car, and electric bicycle while driving in a real road environment. **Problem.** Electric vehicles combine high current levels, short distances between electrical equipment and passengers, and long exposure times. **Objective.** For the measurements, a structural and schematic diagram for measuring the parameters of alternating magnetic fields (frequency spectrum and inductions) of vehicles was developed based on the use of an electric and magnetic field analyzer type EHP-50 from Narda. A video camera recorded the speed of the vehicle – speedometer readings. **Methodology.** The data of frequency, magnetic induction level and speed were displayed on the laptop display in the form of a spectrum in the frequency range of 1...100 Hz and were saved automatically as a file during the measurements. **Results.** The results of the measurements showed that the average values of magnetic induction levels in electric vehicles (0.9 μT) are higher than in hybrid vehicles (0.7 μT) and vehicles with an internal combustion engine (0.4 μT). **Originality.** A statistical analysis of the observations was performed and histograms were plotted, which show a distribution law of inductions close to normal. The correlation coefficients between

*the speed and induction show that these values are statistically independent. The induction values increase when the car is accelerating or braking. The magnetic induction in the interior of the electric vehicle in the passenger seat to the right of the driver was also measured while the electric vehicle was charging from the charging station and compared to the induction in the electric vehicle while driving ($0.85 \mu\text{T}$). Magnetic induction vibration spectra have many harmonics. The average frequencies of the first harmonics of the vibration spectrum of a car are 2.6 Hz, an electric car 4.3 Hz, and a hybrid car 7.3 Hz. For comparison, measurements of induction in the subway and trolleybus were also carried out, which showed significantly lower levels of magnetic induction (about $0.1 \mu\text{T}$ at 50 Hz). When riding an electric bicycle, the induction reaches $0.5 \mu\text{T}$ at a frequency of about 1 Hz. **Practical value:** The measurement results have shown that the values of magnetic induction and their frequency in electric vehicles are close to the values that occur during magnetic storms affecting people with cardiovascular problems and can be used to further assess the impact of electromagnetic fields in vehicles on human health.*

Keywords: car, electric and hybrid vehicle, electric bicycle, magnetic field, measurement uncertainty.

Kravtsov Mykhailo Mykolaiovych¹, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Metrology and Life Safety, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudryi Str., 61002, Kharkiv, Ukraine; E-mail: Supermikvich@ukr.net; contact phone: +(380) 99-205-56-57

Bazhynov Oleksii V¹, Doctor of Technical Sciences, Professor of the M. Y. Govorushchenko Department of Technical Operation and Service of Automobiles, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudryi Str., 61002, Kharkiv, Ukraine;

E-mail: alexey.bazhinov@gmail.com; contact phone: +(380) 98-337-94-45;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5755-855>

Ohar Valeriy Ivanvich², candidate of technical sciences (equivalent of Ph.D. degree). Post: the senior lecturer, Senior Researcher, Department of computer Radio Engineering and Technical Information Security Systems Kharkiv National University of Radio Electronics; Nauky Ave. 14, Kharkiv, 61166; Senior Researcher of the Scientific Center of Electromagnetic Measurements NC-5 NSC "Institute of Metrology", National Scientific Center "Institute of Metrology"; St. Myronosytska 42, 61002, Kharkiv, Ukraine;

E-mail: valeriy.ogar@nure.ua; Contact tel.: (095) 104-34-50

Vasileva Elena Mikhailovna³, Candidate of technical sciences (equivalent of Ph.D. degree); Director of the Scientific Center of Electromagnetic Measurements NC-5 NSC "Institute of Metrology", National Scientific Center "Institute of Metrology" St. Myronosytska 42, 61002, Kharkiv, Ukraine; E-mail: koropetc@ukr.net; Contact tel.: (066) 462-8918

Kekerchen Mykola Anatoliyovych³, Leading engineer of NSC "Institute of Metrology" Scientific Center NC-5 of Electromagnetic Measurements, National Scientific Center "Institute of Metrology", St. Myronosytska 42, 61002, Kharkiv, Ukraine; E-mail: nikoljaak@gmail.com; Contact tel.: (095) 541-01 13.