

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 62-788

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.102.0.15

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Бажинов О. В., Кравцов М. М.

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Рівень частоти, напруженості електромагнітного випромінювання (ЕМВ) і час перебування у транспорті хвилює людей. Мета - дослідження вплив ЕМВ на людину. Методика - системний підхід досліджень, захист від ЕМВ у транспорті. Новизна - вперше надана концепція оптимального моделювання ЕМВ у транспорті. Практичне значення - наведені міри безпеки від ЕМВ.

Ключові слова: автомобіль, ультра низькочастотне випромінювання, вкрай низькочастотне випромінювання, низькочастотне випромінювання, електромагнітне забруднення, електричний транспортний засіб, гібридний транспортний засіб, довкілля.

Вступ

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) визнала, що електромагнітні поля (ЕМП) та електромагнітні випромінювання (ЕМВ) – це змінні електричні та магнітні поля, що поширюються в просторі у формі хвиль зі швидкістю світла ($c=299792458$ м/с). Досліджено, що ступінь біологічної дії електромагнітних полів і випромінювання на організм людини залежить від частоти електричних коливань, напруженості та інтенсивності електромагнітного поля, тривалості його дії [1]. Електромагнітне поле (ЕМП) штучного походження є одним із найнебезпечніших і шкідливих для здоров'я та працездатності людини факторів, що визначають їх негативну біологічну дію на клітини людського організму, імунну та інші системи. ВООЗ поставила завдання перед світовими вченими науково дослідити та подати рішення щодо проблеми захисту працівників, населення, навколишнього середовища від негативного впливу ЕМВ та необхідності створення безпечних для них умов праці.

Основними несприятливими факторами у виробничому середовищі та трудовому процесі людей, які працюють з відеотерміналами (ВДТ), електричним і гібридним транспортом, є електричні та магнітні поля, статична електрика, м'яке рентгенівське випромінювання, електромагнітні випромінювання оптичного діапазону (зокрема лазерне й ультрафіолетове); іонізуюче випромінювання; електричні прилади, струм, статична електрика. Ці фактори призводять до порушень у роботі серцево-судинної та дихальної системи людини.

Надмірні дози опромінення призводять до різних патологій органів і мутації клітин організму. Унаслідок впливу таких факторів починаються проблеми з центральною нервовою системою, серцем і статевою функцією. Електромагнітне поле (ЕМП) та електромагнітне випромінювання (ЕМВ) завжди виникають під час руху вільних електронів у електричному провіднику, тому в процесі передачі електричної енергії супроводжується інтенсивне електромагнітне випромінювання.

Негативний вплив електромагнітних полів і випромінювання на людину та на її внутрішні органи й компоненти екосистем прямо пропорційні потужності електромагнітного поля та часу опромінення пасажирів і водіїв транспортних засобів. Відомо, за результатами досліджень екологів та лікарів-гігієністів, що всі діапазони електромагнітного випромінювання негативно впливають на здоров'я та працездатність людей, вони шкідливі для імунної, ендокринної, центральної нервової та інших систем організму [2].

Вплив електромагнітних полів та електромагнітного випромінювання транспортних засобів на людину через їх значну поширеність є не менш безпечним за радіацію.

Механізм негативної дії електромагнітного випромінювання на живі організми досі повністю не вивчений, проте існує кілька гіпотез, що пояснюють біологічний вплив електромагнітного поля. Здебільшого цей вплив зводиться до індикації електричних струмів у тканинах і безпосереднього впливу електромагнітного поля на клітинний рівень людини, насамперед на мембранні структу-

ри. Передбачається, що під дією електромагнітного поля може змінюватися швидкість його дифузії через біологічні мембрани, орієнтацію та конформацію біологічних макромолекул (просторове розташування атомів у молекулі певної конфігурації) та стану електронної структури вільних радикалів.

Зазначені впливи зводяться переважно до індикації електричних струмів у тканинах людини внаслідок безпосередньої дії електромагнітного поля на клітинному рівні, насамперед на мембранні структури.

Передбачається, що через вплив електромагнітного поля існує велика чутливість клітинних мембран до дії різних компонентів, розташованих у клітинах. Можлива зміна швидкості дифузії через біологічні мембрани, орієнтацію та конформацію біологічних макромолекул (просторове розташування атомів у молекулі певної конфігурації) та стан електронної структури вільних радикалів.

Метою ініціації будь-якої адаптації ефекту насамперед є мембрани, плазматичні та внутрішньоклітинні, що обмежують різні органоїди й внутрішньоклітинні компоненти. Відома велика чутливість клітинних мембран до дії різних хімічних і фізичних агентів, зокрема електромагнітного випромінювання.

Електромагнітне поле негативно позначається на заряджені частинки та струми, унаслідок чого енергія електричного поля на рівні клітин перетворюється на інші види енергії. Атоми й молекули в електричному полі поляризуються, а полярні молекули орієнтуються за напрямком поширення магнітного поля.

В електролітах, що є рідкими складниками тканин, після дії зовнішнього електричного поля утворюються іонні струми.

Часта зміна електричного поля транспортного засобу викликає нагрівання в тканинах людини за допомогою змінної поляризації діелектрики (сухожилля, хрящів, кісток) та появи електричних струмів провідності. Тепловий ефект є наслідком поглинання електричної енергії електромагнітного поля. Що більші напруга електричного поля та час її впливу на біологічну клітину людини, то сильніше виражені зазначені ефекти.

Відомо, що електромагнітне поле в просторі має вигляд електромагнітної хвилі, яка несе енергію, замкнену в електричному та магнітному полях. Ці поля змінюються одночасно одне з одним. Їх миттєві значення завжди залишаються сталими. Однак на близь-

ких від джерела відстанях, у зоні несформованого поля, ця закономірність порушується.

Основними фізичними параметрами електромагнітного поля є швидкість, поширеність електромагнітної хвилі, довжина хвилі та частота коливань, які пов'язані між собою співвідношенням.

Спектр електромагнітних коливань радіочастот за частотою коливань і довжиною хвилі умовно поділяють на діапазони. За частотою коливань електромагнітні хвилі мають такі діапазони частот: низькі (НЧ), середні (СЧ), високі (ВЧ), дуже високі (ДВЧ), ультрависокі (УВЧ), надвисокі (НВЧ) та надзвичайно високі частоти (НЗВЧ). За довжиною електромагнітні хвилі розрізняють на кілометрові, гектометрові, декаметрові, метрові, дециметрові та інші діапазони хвиль.

Аналіз публікацій

У процесі експлуатації транспортних засобів осіб, які працюють на електротязі, генеруються магнітні поля, що зможуть порушити електромагнітну безпеку й нашкодити пасажиром, водіям і довіллю. Тому для запобігання та забезпечення електромагнітної сумісності необхідне знання характеристик джерел, міцність магнітних полів в електротранспорті.

Про це повідомляють у своїх працях науковці. Наприклад, у дослідженнях [4, 5] проаналізовано частотні розподіли й діагнози за результатами поглиблених медичних оглядів користувачів – чоловіків і жінок. За останні роки вченими-медиками встановлено високий рівень серцево-судинних захворювань – 62 %, гіпертонічних розладів – 19 %; ішемічних хвороб серця (зокрема стенокардії) – 18,2 %; перше місце посідає анемія – 11,7 %; серцева недостатність – 7,3 %; останнє місце – кардіоміопатія – 5,8 %.

Актуальною тенденцією в усьому світі є поступове поширення електротранспорту відповідно до національних програм з розвитку екологічно чистих видів транспорту. Наприклад, програма Європейського Союзу *Green Car Initiative*, спрямована на створення електричних, гібридних, комбінованих транспортних засобів, виділила на їх фінансування приблизно 1 млрд євро [6].

Але світові виробники електричного авто-транспорту зіткнулися з серйозними проблемами щодо забезпечення електромагнітної сумісності всіх пристроїв, розташованих на борту транспортних систем, і створення надійної електромагнітної безпеки користувачів

цього виду транспорту. У зв'язку з цим тестування, моніторинг, вимірювання та аналіз магнітних полів (МП) в електричних транспортних засобах є необхідним і актуальним завданням медиків, науковців, екологів, фахівців служби охорони праці, учених і працівників автотранспортних науково-дослідних ВНЗ, проєктувальників, ергономістів, рятувальників та інших зацікавлених фахівців.

У процесі технічного огляду транспортно-го засобу постає проблема: чим та як міряти електромагнітні поля (ЕМП) і електромагнітні випромінювання (ЕМВ). Затверджена державною службою з охорони праці методика вимірювання ЕМВ і законодавчі документи з цього питання поки відсутні.

Електричні та гібридні транспортні засоби, що працюють від електричної тяги, мають у своєму складі різноманітні силові пристрої: датчики контролю електричної енергії, пристрої та системи керування транспортним засобом та інформацією, зв'язку, відео, аудіо та інші енергетичні джерела. Електричні струми та їх електромагнітні випромінювання, що йдуть крізь електродвигун, електричні кабелі та проводи, ланцюги живлення та тягову літій-іонну (або іншу) батарею під час руху транспортного засобу, пронизують біологічну клітину водіїв, пасажирів і навколишнє середовище.

В електричному транспортному засобі активно генеруються ЕМП у низькочастотних діапазонах (ультранизькочастотному (УНЧ) від 0,001–10 Гц, вкрай низькочастотному (КНЧ) від 10–300 Гц та низькочастотному (НЧ) від 300–1000 Гц). Вищі гармоніки електричного поля в електричному та гібридному видах транспортних засобів генеруються різноманітними електронними пристроями на їх борту, інформаційними системами та системами зв'язку. Наприклад, у гібридних автомобілях виявлені магнітні імпульси до 5 кГц, що генеруються під час перемикання силової установки автомобіля з двигуна внутрішнього згорання до електричного режиму.

Відомо, що в усіх типах електричних і гібридних транспортних засобів генерується низькочастотне пульсуюче магнітне поле, яке створюється в процесі обертання сталевих колісних дисків. Частота (f) цього магнітного поля визначається як швидкість обертання металевих коліс транспортного засобу та зазвичай $f \geq 20$ Гц, однак у спектрі присутні й гармоніки з більш високою частотою [7, 8].

Електромобіль є новою технологічною системою, що тільки зараз виходить на широкий

транспортний ринок. У подальшому виробництво, використання, сервісні та ремонтні заходи цих транспортних засобів ще не стали масовими, тому поки відсутні детальні вимірювання магнітних полів (МП) та аналіз їх негативної дії на пасажирів, водіїв і навколишнє середовище. Наукових робіт про електромагнітні вимірювання в гібридних автомобілях дуже мало, а тестування електромагнітних полів у повністю електричних автомобілях наразі практично не проводяться.

Оскільки в електричних і гібридних транспортних засобах електромагнітні поля (ЕМП) генеруються електричними струмами, що йдуть по струмових системах, проводах, кабелях тощо, тоді можна вважати, що такі МП в автобусах, тролейбусах, трамваях та інших транспортних системах, що працюють на електричному струмі, матимуть схожі параметри. Однак це припущення потребує багаторазового дослідження та перевірки.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є визначення впливу електромагнітного випромінювання в умовах швидкого розвитку гібридних автомобілів.

Завдання:

- дослідження процесу виникнення негативних функцій електромагнітних випромінювань на їх швидкості, а також поширення, мерехтіння, довжини та частоти хвилі гібридного транспорту й електромобілів;
- аналіз приладів випромінювання, що є складниками гібридного та електротранспорту;
- визначення несприятливої дії електромагнітних полів і електромагнітного випромінювання від електротранспортних засобів.

Вплив ЕМВ транспортного засобу на людину

Електромагнітні поля (ЕМП) у транспортних засобах містять електричні та магнітні компоненти, що проявляються у вигляді силового поля, яке може бути статичним і динамічним. Динамічні поля відтворюють тимчасові варіації інтенсивності, зокрема від можливих декількох циклів за секунду (Гц) до потенційних за секунду [9, 10].

Низькочастотні електромагнітні поля як у електричних, так і гібридних транспортних засобах миттєво змінюються в часі в тисячі разів за його одиницю залежно від прискорення та рекуперативного гальмування транспорту. У цьому полягає основна небезпека електротранспорту.

Відомо, що електромагнітні випромінювання (ЕМВ) негативно впливають на машиністів електропоїздів, працівників залізничних підстанцій, пілотів авіалайнерів та ін.

Чи можливо брати приклад власникам електричних і гібридних автомобілів з представників небезпечних професій, з таких гібридів, як *Plug-in*, у якого є функція примусового підзарядження тягової батареї, коли електромотор починає працювати як генератор у режимі рекуперації?

Якщо скоригувати глобальні масштаби впровадження електрокарів у виробництво, проблема безпеки ЕМВ не вирішиться повністю. Оскільки мережа кабелів і проводів, по яких іде електричний струм в автомобілях і гібридних транспортних засобах, створює небезпечні електромагнітні поля (ЕМП), то лікарі бачать у цих ЕМП потенційну загрозу для здоров'я водіїв і пасажирів, зокрема діти ризикують захворіти на лейкемію. Батареї та силові електричні лінії електромобілів, а також інвертори (перетворювачі постійного струму на змінний), тягова літій-іонна батарея (у ній накопичується енергія для електромоторів), електромотор / генератор (крутить колеса, коли машина розганяється або виробляє струм для тягового акумулятора), електронний варіатор з планетарною передачею (розподіляє навантаження та керується автоматично) розміщуються поряд з водієм та пасажиром. Отже, негативний вплив електромагнітних полів (ЕМП) та електромагнітних випромінювань (ЕМВ) на людей неминучий, до того ж протягом тривалого періоду часу. Проте досі не прийнято державних стандартів і не визначено норм гранично допустимих умов впливу електромагнітного випромінювання на пасажирів, водіїв, які перебувають у електричному транспортному засобі. Поки не встановлені максимально допустимі рівні електромагнітного випромінювання в кабінах і салонах цих транспортних засобів з огляду на багатогодинний вплив їх електромагнітних полів на біологічну клітину людського організму.

Відомо, що магнітні поля (МП) наднизької частоти уповільнюють реакцію людини. Низькочастотні випромінювання є серйозною загрозою для людини та безпеки під час руху транспорту, якщо такі явища спостерігаються у водіїв. Необхідно зважати на дві «обтяжливі обставини»: по-перше, водії та пасажирів транспортного засобу (електромобіля чи гібриду) перебуватимуть у безпосередній близькості до джерел МП; по-друге, вони будуть насичу-

ватись експозицією електромагнітних полів (ЕМП) та ЕМВ за весь період перебування в транспортному засобі. Згадані чинники збільшують ризик негативного впливу магнітних полів на людину [6].

Усі типи транспортних засобів з електроприводом мають зовнішні електромагнітні поля, зокрема магнітне поле Землі, а також різні бортові електронні та електричні пристрої та прилади.

Електричний і гібридний автомобілі з огляду на особливу побудову генерують суттєво внутрішні ЕМП у дуже широкому діапазоні частот. Устаткування в електричних і гібридних транспортних засобах є джерелом змінного ЕМП, що визначаються сильною тимчасовою та просторовою неоднорідністю в діапазоні частот від 0 до сотень мегагерців [11].

Щодо екологічного аспекту, то найбільш важливим є магнітний складник ЕМП, тому що саме він спричиняє негативні наслідки для здоров'я людини. МП становлять ризик для електромагнітної сумісності різних електротехнічних засобів і електронних пристроїв у електричному транспортному засобі, особливо в електромобілі та гібридному транспорті. Отже, якісне вимірювання та оцінювання МП, визначення їх топології в електричному й гібридному автомобілях є актуальним і необхідним завданням.

Відомо, що робіт про детальні вимірювання магнітних полів в електричних і гібридних транспортних засобах дуже мало, а статті про тестування МП у повністю електричних автомобілях та гібридах практично відсутні [12].

Підсумовування відомої інформації, її порівняння з літературними джерелами, присвяченими іншим видам електричного транспорту, дало змогу виявити загальні властиві показники для електромагнітних полів.

Основними їх характеристиками є те, що, на відміну від синусоїдальних електромагнітних полів, які з'являються в лініях електричних передач на частоті 50–60 Гц, електромагнітне поле в електричному транспорті створює мультичастотні поля, що є суперпозицією полів, які генеруються безліччю джерел на борту автомобіля.

Виявлено, що МП в електричному транспорті є іррегулярними, швидко змінюються в часі та вкрай неоднорідні в просторі салону транспортного засобу.

Ці властивості магнітних полів транспортного засобу з електроприводом ускладнюють

проведення їх точних вимірювань у салоні автомобілів.

Установлено, що для коректних вимірювань полів та їх градієнтів у салоні транспортного засобу та в безпосередній близькості від нього необхідно брати до уваги: значну просторову неоднорідність поля в салоні транспортного засобу, адитивну індустріальну перешкоду (радіоперешкода), природне постійне та змінне геомагнітне поле в тому самому діапазоні частот [13].

Моніторинг електромагнітного випромінювання в салоні транспортного засобу з електроприводом визначається просторовими, сильно не однорідними магнітними полями та побудовою 3D-топології, де необхідне чітке використання численних рівномірно розташованих датчиків контролю магнітних полів.

Для цього важливо застосовувати метод тестування магнітного поля в транспортному засобі з електроприводом, що ґрунтується на диференційних методах його вимірювання.

Як свідчать літературні джерела, відсоток електромагнітного забруднення міського середовища від автотранспорту нині становить 18–32 % [14].

У дослідженні зовнішніх і внутрішніх електромагнітних випромінювань у транспортних засобах з електроприводом рекомендується обов'язково брати до уваги особливості, які створюють поширені магнітні поля у вільному й замкнутому просторі (тонка структура поля).

Дослідження електромагнітних полів автомобілів з електроприводом

Сучасний автомобіль є засобом пересування, що все більше насичується електронним та електричним устаткуванням, яке негативно позначається на імунній, ендокринній, кровоносній, статевій, нервовій та інших системах людського організму.

В електричних транспортних засобах електромагнітні поля (ЕМП) створюються обладнанням, розташованим у них. Відомо, що рівні індукції магнітного поля в транспортному засобі з електроприводом істотно залежать від режиму експлуатації, а також від збільшення або зменшення швидкості руху транспорту, його гальмування, прискорення, зупинення та інших показників.

Отже, існує постійне й серйозне занепокоєння медиків, екологів, фахівців з охорони праці та безпеки життєдіяльності та населення щодо негативного впливу електромагнітного випромінювання транспортних засобів з елек-

троприводом на пасажирів, водіїв та довокільця. Однак ці питання наразі ретельно не вивчені.

Досліджені значення щільності магнітного поля (В) в різних швидкостях руху електричного транспортного засобу за умови його прискорення та руху з постійною швидкістю 40 км/год. Значення ЕМП в електромобілях істотно не зміняться через тривале водіння або їх регулярне технічне обслуговування. Проте в разі капітального ремонту транспортний засіб може змінити як спектр, так і амплітуду результатів МП.

Негативний вплив електромобілів залежить не тільки від різних типів електромагнітних випромінювань (безперервних, переривчастих, імпульсних, загальних, місцевих, комбінованих), а також і від кількості джерел випромінювання разом з іншими несприятливими впливами, від потужності випромінювання, частоти та спектра випромінюваного сигналу, часу опромінення, виду модуляції, поляризації, електричного, магнітного складників тощо.

Добре вираженими й поширеними ознаками змін в організмі людини від дії електромагнітного випромінювання є дратівливість, погіршення пам'яті, швидка стомлюваність, метушливість, головний біль, недостатня ефективність сну, гальмування умовних рефлексів і под. Існує думка медиків, гігієністів, фахівців з безпеки життєдіяльності, що зміни, спричинені електромагнітними випромінюваннями транспортних засобів з електроприводом навіть дуже малої інтенсивності, здатні накопичуватися в організмі людини в умовах їх тривалого та багаторічного впливу [15].

Напруженість електромагнітних і електричних полів гібридного автомобіля визначалась з допомогою приладу *VEGA-12 M* у кількох точках. Як наслідок – було виявлено негативні явища електромагнітного випромінювання (рис. 1, 2).

Результати вимірювання магнітних та електромагнітних полів у салоні гібридного автомобіля (табл. 1) показують, що магнітні поля змінюються від 20 МГц – 1 ГГц до $m\alpha = 0,03$ А/т.

Унаслідок проведеного експерименту виявлено, що найбільші електромагнітні випромінювання спостерігаються в кабіні гібридного автомобіля, де розташований пасажир (праве переднє сидіння), і на задньому лівому сидінні, де розташована в піддоні тягова акумуляторна батарея транспортного засобу з електроприводом.



Рис. 1. Вимірювання напруженості електромагнітного поля в салоні транспортного засобу з електроприводом (праве переднє сидіння пасажирів)

У табл. 1 наведені результати вимірювань магнітних та електромагнітних полів всередині салону гібридного автомобіля.

Сучасні світові виробники електричних транспортних засобів зіткнулися з серйозною



Рис. 2. Вимірювання напруженості електромагнітного поля в салоні транспортного засобу з електроприводом ЕМП всередині автомобіля (заднє сидіння пасажирів)

проблемою щодо забезпечення електромагнітної безпеки користувачів електричного транспорту, надійного захисту від ЕМВ пасажирів, водіїв і довкілля.

Таблиця 1 – Результати вимірювання магнітних та електромагнітних полів

Місце вимірювання	Результати вимірювання магнітного поля (А/м)*	Результати вимірювання електромагнітного поля (В/м)	Примітка: (+ -) один., за норм. документ.	Граничні значення рівнів (ГДР) за 8 год
Двигун	0,27	0,75	-	Мп 5 А/м
Акумулятор	0,02	9,45	-	Еп 50 В/м
Пасажир. місце	0,565	15,4	-	

*магнітні поля 20 МГц – 1 ГГц: max=0,03 А/т

Існує велике занепокоєння пасажирів і водіїв транспортних засобів з електроприводом, а також населення з приводу можливих ризиків негативної дії електромагнітних випромінювань на здоров'я та безпеку руху через вплив електромагнітних полів, які генеруються в електричних видах транспорту сильними струмами, що протікають в електропроводах, електричних кабелях, електродвигуні, тяговій акумуляторній батареї, інверторі, конверторі та інших пристроях та приладах. Про це свідчать численні роботи, наприклад [15, 16].

Існує думка, що електромагнітні поля частотою 50–60 Гц можуть становити загрозу здоров'ю людині, зокрема викликати канцерогенні захворювання, пухлини мозку, неврологічні порушення, депресії та інші хвороби.

Установлено [16], що магнітні поля (МП) наднизької частоти сповільнюють реакцію водіїв, що може спричинити серйозну загрозу для безпеки руху. У цьому разі необхідно зважати на ще дві «обтяжливі обставини»: поперше, водії та пасажирів електричного транспортного засобу (електромобіль, гібридний

транспортний засіб тощо) перебувають у безпосередній близькості від електричних джерел; по-друге, люди будуть піддаватися негативної експозиції електричних полів протягом тривалого часу, поки перебувають у цьому транспортному засобі. Обидва наведених фактори збільшують ризик негативного впливу магнітних полів на людський організм.

Відомо, що у всіх типах електричних транспортних засобів є зовнішні електромагнітні поля, зокрема магнітні поля Землі та електромагнітні поля різних бортових електронних пристроїв та приладів (електричні системи керування, зв'язок, комп'ютерна й аудіотехніка тощо) [15, 16].

Обладнання електричного транспортного засобу є джерелом змінного електромагнітного поля, що має дуже сильну тимчасову й просторову неоднорідність у діапазоні частот від 0 до сотень мегагерців. З екологічного погляду найбільш важливим є магнітний складник електромагнітного поля, оскільки науково доведено, що саме він призводить до негативних наслідків і погіршення здоров'я людини.

Електричні й гібридні транспортні засоби внаслідок своїх конструктивних особливостей генерують істотні внутрішні електромагнітні поля в широкому спектрі електромагнітних частот.

Магнітні поля в транспортних засобах з електроприводом становлять ризик для електромагнітної сумісності різних електротехнічних засобів і електронних пристроїв, які є складниками електричного транспорту. Вимірювання та оцінювання магнітного поля, визначення його топології в електричних і гібридних автомобілях є актуальним завданням.

Робіт про детальні магнітні вимірювання в електричних і гібридних транспортних засобах виявлено дуже мало, а опубліковані статті з тестуванням МП в повністю електричних автомобілях відсутні. Однак підсумовування відомої інформації та її порівняння з літературними джерелами, присвяченими іншим видам електричного транспорту, дало змогу виявити загальні властиві показники для електромагнітних полів. З'ясовано, що, на відміну від синусоїдальних полів від ліній електричних передач (на частоті 50 або 60 Гц), в ЕМП електричного транспорту є мультичастотні поля, тобто вони є суперпозицією полів, що генеруються безліччю джерел на борту автомобіля.

Унаслідок дослідження виявлено, що магнітні поля транспортних засобів з електроп-

риводом є іррегулярними, вони швидко змінюються в часі та є вкрай неоднорідними в просторі салону автомобіля. Людина не може миттєво адаптуватися до змінного «мерехтіння» електромагнітного випромінювання, що постійно й негативно діє на біологічні клітини організму. Унаслідок пасажири та водії транспортних засобів з електроприводом втрачають орієнтованість, у них погіршується пам'ять, порушуються внутрішні життєві цикли, настає млявість, нездужання тощо.

Властивості МП в електричних транспортних засобах ускладнюють докладні та точні вимірювання цих полів у салоні автомобіля, що рухається чи стоїть з увімкненим двигуном з різних причин. Для коректних вимірювань електричних полів та їх градієнтів у салоні та в безпосередній близькості від електричного транспортного засобу необхідно брати до уваги: значну просторову неоднорідність поля в салоні транспорту, адитивну індустріальну перешкоду, а також природне постійне та ковзне геомагнітне поле в тому самому діапазоні частот.

Висновки

Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів електричних і гібридних транспортних засобів на організм людини залежить від частоти коливань ЕМВ, напруженості та інтенсивності електричного поля, режиму його генерації (імпульсне, безперервне), тривалості часу дії впливу на людину. Біологічна дія електромагнітних полів у різних діапазонах частот не однакова. Що коротша довжина хвилі, то більша електромагнітна енергія.

Проблемним є визначення в транспортних засобах з електроприводом небезпечного рівня низькочастотного електромагнітного випромінювання. Це завдання є частковим, оскільки доза електромагнітного випромінювання залежить не тільки від відстані до джерела магнітного поля, але й тривалості її впливу на людину.

Вимірювання електромагнітного випромінювання в транспортних засобах з електроприводом рекомендується проводити за таких умов:

- а) розташувати транспортні засоби необхідно на рівному горизонтальному майданчику;
- б) мають бути відсутні атмосферні опади (сніг, дощ);
- в) двері, капот, багажник мають бути зачинені;

г) двигун має бути прогрітий (у гібридному транспорті) до нормальної робочої температури (95 °С);

д) двигун внутрішнього згоряння (у гібридному транспорті) має працювати із частотою обертання 1500–1220 хв;

е) антени приладів вимірювання рівня ЕМП та ЕМВ мають розташовуватися напроти центру транспортного засобу, на відстані 10 м і на висоті 3 м, спереду або ззаду (залежно від розташування двигуна гібридного транспорту) та з боку антени радіоприймача автомобіля.

Конфлікт інтересів

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

Література

1. Бажинов О.В., Кравцов М.М. Електромагнітна безпека транспортних засобів: монографія. Харків: Форт, 2021. С. 131.
2. Ан С., Кім Дж. Конструкція магнітного поля для високоефективної бездротової передачі енергії з низьким ЕРС в онлайнному електромобілі. *5-а Європейська конф. антени та розповсюдження (EUCAP 2011)*. Рим, квітень 2011. С. 3979–3982.
3. Реддл А.Р., Лоу Л. Вплив корпусу на низькочастотні магнітні поля, викликані силовими кабелями електромобілів. *11th Int. Європейський Сумп. ЕМС*, вересень 2012, Рим, Італія.
4. Justese D.R. Мікрохвильове випромінювання і гематоенцефалічний бар'єр. 1980. *IEEE* 68. S. 60–67.
5. Вільямс В.М., Лу М., Дель Серро, Майклсон С.М. Вплив мікрохвильової енергії 2450 МГц на гематоенцефалічний бар'єр для гідрофільних індикаторів. 1984. *Brain Res.* Об. 7. S. 191–212.
6. Будянська Е.М., Будянська А.Р., Нестеренко С.В. Обґрунтування заходів безпеки життєдіяльності щодо електромагнітного випромінювання при використанні сучасних засобів комп'ютерної техніки / Науково-дослідний інститут гігієни праці та професійних захворювань Харківського національного медичного університету; Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова. С. 5.
URL: <https://ojs.kname.edu.ua/article/download/>
7. Норт Т.М. Випробування автомобільної ЕМС – проблеми тестування акумуляторних систем для електричних та гібридних транспортних засобів. *IEEE EMC Magazine*. 2012. Vol. 1, Q. 1. С. 97–100.
8. Робоча група Інституту інженерів-електриків з біологічних ефектів. Можливі шкідливі біологічні ефекти електромагнітних полів низького рівня до 300 ГГц. 2000.
9. Консультативна група з неіонізуючого випромінювання (AGNIR). Звіт Консультативної групи з неіонізуючого випромінювання. Електромагнітні поля ELF та ризик раку / Національна рада з радіологічного захисту, 2001.
10. Piazza MC Di, Рагуза А., Віталі Г. Ефекти активного фільтрування синфазних перешкод в асинхронних двигунах електромобілів. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2010. Vol. 59, Issue 6. P. 2664–2673.
11. Хамза Д., Пахлеванінежад М., Джайн П.К. Реалізація нового цифрового активного методу електромагнітних перешкод цифрового контролера постійного струму на основі DSP, що використовується в електромобілі (EV). *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2013. Т. 28. Вип. 7. С. 3126–3137.
12. Раддл А.Р., Армстронг Р. Огляд стандартів ЕМС, що діють, щодо транспортних засобів з електричними силовими агрегатами. *Міжнародний симпозіум з електромагнітної сумісності (EMC Europe 2013)*. Брюгге (Бельгія), 2–6 вересня 2013 р.
13. Єшке С., Хірш Х. Дослідження електромагнітних перешкод тягової системи електромобіля динамічному режимі. *Міжнародний симпозіум з електромагнітної сумісності (EMC Europe 2014)*. Гетеборг (Швеція), 1–4 вересня 2014 р.
14. П'яцца МС Ді, Місяць М., Віталі Г. Зниження електромагнітних перешкод в електроприводах постійного струму за допомогою активного компенсатора синфазних перешкод. *Транзакції IEEE з електромагнітної сумісності*. Т. 56. Вип. 5.
15. Бажинов О.В., Бажинова Т.О., Кравцов М.М. Основи ефективного використання екологічно чистих автомобілів: монографія. Харків: ФОП Панов А.М., 2018. 200 с.
16. Бажинов О.В., Кравцов М.М. Небезпека транспортних засобів: монографія. Харків: ЧП Стариченко Л.А., 2022. 160 с.

References

1. Electromagnetic safety of vehicles: monograph (2021). Kharkiv: Fort Publishing House. S. 131.
2. Ahn, S., Kim, J. (2011). Magnetic field design for high-efficiency wireless energy transfer with low EMF in an online electric vehicle. *5th European Conf. on Antennas and Propagation (EUCAP 2011)*, Rome, pp. 3979–3982.
3. Reddle, A.R., Lowe, L. (2012). Housing effects on low-frequency magnetic fields induced by electric vehicle power cables. *11th Int. European Symp. EMC*, Rome, Italy.
4. Justesen, D.R. (1980). Microwave radiation and the blood-brain barrier. *IEEE* 68: S: 60–67.
5. Williams, W.M., Lu, M, Del, Cerro, Michaelson, S.M. (1984). Effect of 2450 MHz microwave energy on the blood-brain barrier for hydrophilic indicators. *Brain Res.* Vol. 7. S. 191–212.

6. Budyanskaya, E.M., Budyanskaya, A.R., Nesterenko, S.V. Substantiation of life safety measures in relation to electromagnetic radiation when using modern means of computer technology / Institute of Occupational Health and Occupational Diseases of Kharkiv National Medical University. P. 5. URL: <https://ojs.kname.edu.ua/article/download/>
7. North, T.M. (2012). Automotive EMC Testing – Challenges in Testing Battery Systems for Electric and Hybrid Vehicles. *IEEE EMC Magazine*, vol. 1, q. 1, s. 97–100.
8. Institute of Electrical Engineers Working Group on Biological Effects. Possible harmful biological effects of low-level electromagnetic fields up to 300 GHz. 2000.
9. Advisory Group on Non-Ionizing Radiation (AGNIR). Report of the Advisory Group on Non-Ionizing Radiation. ELF electromagnetic fields and cancer risk. National Council for Radiological Protection, 2001.
10. Piazza, MC Di, Ragusa, A., Vitale, G. (2010). Effects of active filtering of common-mode interference in electric vehicle induction motors. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol 59, issue 6, pp. 2664–2673.
11. Hamza, D., Pahlevaninejad, M., Jain, P.K. (2013). Implementation of a novel digital active EMI method for a DSP-based digital DC controller used in an electric vehicle (EV). *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, issue 7, pp. 3126–3137.
12. Ruddle, A.R., Armstrong, R. (2013). Overview of current EMC standards for vehicles with electric powertrains. *International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2013)*. Bruges (Belgium), September 2–6.
13. Jeschke, S., Hirsch, H. (2014). Investigation of electromagnetic interference of the traction system of an electric vehicle in dynamic mode. *International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2014)*. Gothenburg (Sweden), September 1–4.
14. Piazza, MS Di, Misi, M., Vitale, G. Reducing electromagnetic interference in DC drives using an active common-mode compensator. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 56, issue 5.
15. Bazhynov, O.V., Bazhynova, T.O., Kravtsov, M.M. (2018). Fundamentals of effective use of environmentally friendly cars: monograph. Kharkiv: Panov A.M., 200 p.
16. Bazhynov, O.V., Kravtsov, M.M. (2022). Danger of vehicles: monograph. Kharkiv: Starichenko L.A., 160 p.

Бажинів Олексій Васильович, д.т.н., професор кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. Говорушценка 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://orcsd.org/0000-0002-3218-2182>

Electromagnetic radiation from electrically driven vehicles

Abstract. *The problem of electromagnetic radiation of vehicles exists and worries people, because it is not clear what is the safe level of frequency, intensity, time spent by drivers and passengers in vehicles, etc. The article is devoted to the disclosure of the problems of adverse effects of electromagnetic fields (EMF) and electromagnetic radiation (EMR) of modern hybrid and electric vehicles on drivers, passengers, pedestrians and the environment. The purpose of the study was to investigate the process of occurrence, propagation and impact of negative functions of electromagnetic radiation on biological objects, their propagation speed, flicker, wavelength and frequency, and radiation devices in electric and hybrid vehicles. The methodology of the article is based on the results of research by scientists from around the world and our own research and experiments, the results of which are presented in this article. The results of the scientific work are reviewed from researchers on this topic and their own tests are described. The authors point out the need to measure electromagnetic radiation at the stages of their operation, repair and manufacture, since these vehicles running on electric traction generate magnetic fields that can violate electromagnetic safety. This is because electric vehicles have power plants, sensors, control, information and communication systems. Electric currents flowing through electric motors, power circuits, and batteries while driving generate magnetic fields (MFs) in the low frequency ranges (ultra low frequency (ULF), 0.001–10 Hz; extremely low frequency (ELF), 10–300 Hz). Higher harmonics of the electric field in electric vehicles and hybrid vehicles are generated by various electronic devices on board, information and communication systems. For example, in hybrid vehicles, magnetic pulses of up to 5 kHz are generated when the internal combustion engine is switched to electric mode. In addition, all types of cars generate a low-frequency pulsating magnetic field when the steel wheel disks rotate. The frequency f of this field is determined by the wheel speed and is usually $f \approx 20$ Hz, but the spectrum also contains harmonics. The scientific novelty is that for the first time the concept of modeling and optimization of electromagnetic hazard assessment of electric vehicles and hybrid vehicles is presented, which has a unified approach to the study of the magnetic field regardless of the structure and design schemes of their power plants at the stage of operation; for the first time methods for assessing important parameters of the magnetic field of electric vehicles and hybrid vehicles at the stage of operation are developed based on the concept of optimal control of the power plant depending on the operating conditions. The practical significance is the originality, which lies in the fact*

that the authors have considered the problems of determining the moment of occurrence of traffic hazards in various road and transport situations and the technical hazards of various types of electric vehicles and hybrid vehicles.

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

Bazhynov Oleksii Vasilovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical

operation and service of automobiles

M.Y. Govorushchenko 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 Mykolayovych,

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://orcsd.org/0000-0002-3218-2182>
