

О. В. БАЖИНОВ, М. М. КРАВЦОВ

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

МОНОГРАФІЯ



О. В. Бажинов, М. М. Кравцов

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Монографія

Харків

2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

О. В. Бажинов

М. М. Кравцов

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Монографія

Харків

2021

УДК 62-788

ББК 68.9я73

Б 40

Рецензенти:

Подригало М. А., д-р техн. наук, професор

Харківський національний автомобільно-
дорожній університет

Шуляк Л.М., д-р техн. наук, професор

Харківський державний біотехнологічний університет

Далека В. Х., д-р техн. наук, професор

Харківський національний університет військового господарства
ім. О. М. Бекетова

О. В. Бажинов, М. М. Кравцов

Б 40 Електромагнітна безпека транспортних засобів: монографія /О. В. Бажинов, М. М. Кравцов.

Х. 2021. ____ с.

ISBN _____

Антропогенні електромагнітні випромінювання (ЕМВ) у десятки тисяч разів перевищують природне електромагнітне тло. Зокрема, за останні 50 років потужність ЕМВ від експлуатованих у промисловості та на транспорті джерел зросла більш ніж у 50 000 разів. Це зумовило необхідність розробки гігієнічних регламентів та ефективних заходів захисту працівників і населення.

Монографія посвячена проблемам несприятливої дії електромагнітних полів (ЕМП) на водіїв, пасажирів та довкілля, вплив електромагнітних випромінювань сучасного гібридного та електричного транспорту на біологічну клітину людини, що є особливо актуальним.

Монографія присвячена для науковців, аспірантів, студентів, а також фахівців і ентузіастів пов'язаних з проектуванням, експлуатацією і переобладнанням автомобілів.

Іл. - , табл. - , бібліогр. - найменувань -.

ISBN _____

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Електромагнітне поле та людина	7
2. Розвиток та значимість транспортних засобів з електроприводом	14
3. Енергетичні витрати транспортного засобу з електроприводом	30
4. Електромагнітні поля транспортних засобів.....	37
5. Вплив електромагнітних випромінювань на клітину людини	54
6. Механізми біологічної дії ЕМП на людину.....	79
7. Нормативні документи вимірювань напруженості ЕМВ	86
8. Прилади вимірювань електричних та магнітних полів	92
9. ЕМВ електро/гібридних автомобілів	113
10. Вода та модульні ЕМП як структурно-функціональні креоди	117
ЗАКЛЮЧЕННЯ	122
ЛІТЕРАТУРА.....	127

ВСТУП

При експлуатації транспортних засобів, що працюють на електротязі, генеруються магнітні поля, які можуть порушити електромагнітну безпеку. Тому для її забезпечення і електромагнітної сумісності необхідне знання характеристик і джерел магнітних полів в електротранспорті. В роботі проведено обобщення наявної інформації про магнітних полях в електромобілях і порівняння їх з результатами вимірів, проведеними в інших видах електрифікованого транспорту.

Перехід на електротранспорт є однією з найбільш актуальних світових тенденцій. Багато розвинені високотехнологічні країни мають національні програми з розвитку екологічного електричного транспорту. Прикладом може служити програма Європейського Союзу «Green Car Initiative», спрямована на фінансування розробок в області створення електричного автотранспорту (з електричними і з комбінованими, «гібридними» енергоустановками) і відповідної інфраструктури [1]. Загальна сума коштів на дану програму досягає 1 млрд. Євро.

Однак світові виробники електричного автомобілебудування зіткнулися з серйозними проблемами забезпечення електромагнітної сумісності всіх пристроїв на борту транспортної системи і електромагнітної безпеки користувачів електротранспорту. У зв'язку з цим тестирування, моніторинг та аналіз магнітних полів (МП) в електротранспорті є актуальним завданням.

Автомобілі, що працюють на електричній тязі, мають силові установки, датчики, пристрої систем управління, інформації та зв'язку. Електричні струми, поточні через електродвигун, ланцюги живлення та батареї під час руху, генерують МП в низькочастотних діапазонах (ультранізкочастотном (УНЧ), 0,001-10 Гц; вкрай низькочастотні (КНЧ), 10-300 Гц). Вищі гармоніки електричного поля в електро/гібридному транспорті генеруються різноманітними електронними пристроями на борту,

інформаційними системами і системами зв'язку. Наприклад, в гібридних автомобілях наблюдаються магнітні імпульси до 5 кГц, які генеруються під час перемикання двигуна внутрішнього згоряння до електричного режиму. Крім того, у всіх типах автомобілів генерується низькочастотне пульсуюче магнітне поле під час обертання сталевих колісних дисків. Частота f цього поля визначається швидкістю обертання коліс, і зазвичай $f < 20$ Гц, але в спектрі присутні також і гармоніки з більш високою частотою [2].

Електромобіль є новою технологічною системою, яка тільки зараз виходить на широкий ринок. Виробництво і використання таких електромобілів поки не стало масовим, тому в світі і, зокрема, в Україні відсутні досить великі і детальні вимірювання МП в таких транспортних засобах. Робіт про магнітні виміри в гібридних автомобілях дуже мало, а тестування полів в повністю електричних автомобілях практично не проводиться.

Оскільки в електромобілях, як і в інших видах електротранспорту, МП генеруються струмами, поточними по струмовим системам (проводам і кабелям) транспортного засобу, то можна вважати, що МП у всіх транспортних системах, що працюють на електричному струмі, будуть мати схожі параметри. Однак це припущення вимагає перевірки. Метою цієї роботи є узагальнення скудної інформації про МП в електромобілях і порівняння їх з результатами наших вимірів, проведеними в інших видах електрифікованого транспорту, а також розгляд проблем несприятливої дії електромагнітних полів (ЕМП) на водіїв, пасажирів та довкілля, вплив електромагнітних випромінювань сучасного гібридного та електричного транспорту на біологічну клітину людини [3].

1. ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ ТА ЛЮДИНА

Електромагнітний спектр представляє всі можливі частоти електромагнітної енергії. Він варіюється від надзвичайно довгих хвиль (надзвичайно низькочастотна дія, наприклад, від ліній електропередач) до надзвичайно коротких довжин хвиль (рентгенівські промені та гамма-промені) і включає як неіонізуюче, так і іонізуюче випромінювання.

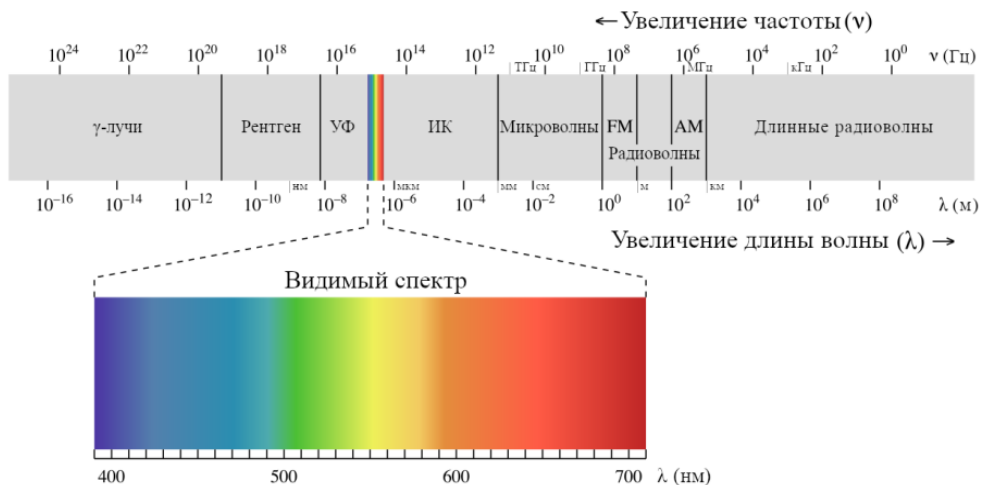


Рис. 1. Електромагнітний спектр

Електромагнітні хвилі характеризуються довжиною хвилі (позначення « λ », розмірність СІ – м), що випромінює їх джерело – частотою (позначення – « f », розмірність СІ – Гц). При частотах 3-300 Гц як характеристики магнітного поля може також використовуватися поняття магнітної індукції B , розмірність СІ - Тл (Тесла), одна мільйонна частина Тл відповідає 1,25 А / м [4].

До групи джерел високочастотних випромінювань належать функціональні передавачі - джерела ЕМП з метою передачі та прийому інформації. До них відносяться різноманітне технічне обладнання, яке використовує НВЧ - випромінювання, змінні (50 Гц ... 1 МГц) і імпульсні поля, побутове обладнання (НВЧ - піч).

Низькочастотні включають всі системи виробництва, передачі розподілу електроенергії, домашню і офісну електро- і електронну техніку, в тому числі засоби відображення інформації індивідуального користування

(монітори ПК), транспорт на електроприводі, залізничний, міський і автомобільний транспорт.

Електричні та магнітні поля – це невидимі області енергії (також звані випромінюванням), що виробляються електрикою, тобто рухом електронів або струму по дроту.

Електричне поле створюється напругою, яка є тиском, що використовується для проштовхування електронів через провід, подібно до того, як вода проштовхується через трубу. У міру збільшення напруги електричне поле посилюється. Електричні поля вимірюються у вольтах на метр (В/м).

Магнітне поле виникає в результаті протікання струму через дроти або електричні пристрої та посилюється у міру збільшення струму. Сила магнітного поля швидко зменшується зі збільшенням відстані від джерела. Магнітні поля вимірюються у мікروتеслах (мкТл, або мільйонних частках тесла).

Електричні поля створюються незалежно від того, увімкнено пристрій чи ні, тоді як магнітні поля створюються тільки при протіканні струму, що зазвичай вимагає увімкнення пристрою. Лінії електропередач постійно утворюють магнітні поля, тому що через них завжди тече струм. Електричні поля легко екрануються або послаблюються стінами та іншими об'єктами, тоді як магнітні поля можуть проходити через будівлі, живі істоти та більшість інших матеріалів[5].

Електричне поле створюється напругою, яка є тиском, що використовується для проштовхування електронів через провід, подібно до того, як вода проштовхується через трубу. У міру збільшення напруги електричне поле посилюється. Електричні поля вимірюються у вольтах на метр (В/м).

Магнітне поле виникає в результаті протікання струму через дроти або електричні пристрої та посилюється у міру збільшення струму. Сила магнітного поля швидко зменшується зі збільшенням відстані від джерела.

Магнітні поля вимірюються у мікротеслах (мкТл, або мільйонних частках тесла).

Електричні поля створюються незалежно від того, увімкнено пристрій чи ні, тоді як магнітні поля створюються тільки при протіканні струму, що зазвичай вимагає увімкнення пристрою. Лінії електропередач постійно утворюють магнітні поля, тому що через них завжди тече струм. Електричні поля легко екрануються або послаблюються стінами та іншими об'єктами, тоді як магнітні поля можуть проходити через будівлі, живі істоти та більшість інших матеріалів.

Хвильові процеси надзвичайно поширені у природі. У природі існує два види хвиль: механічні та електромагнітні. Механічні хвилі поширюються на речовині: газі, рідині чи твердому тілі. Електромагнітні хвилі не потребують будь-якої речовини для свого поширення, до яких, зокрема, відносяться радіохвилі та світло. Електромагнітне поле може існувати у вакуумі, тобто в просторі, що не містить атомів. Незважаючи на суттєву відмінність електромагнітних хвиль від механічних, електромагнітні хвилі при своєму поширенні поведуться подібно до механічних.

Серед різних фізичних факторів навколишнього середовища, які можуть надавати несприятливий вплив на людину та біологічні об'єкти, велику складність представляють електромагнітні поля неіонізуючої природи, що особливо відносяться до радіочастотного випромінювання. Електромагнітні поля - це особлива форма існування матерії, що характеризується сукупністю електричних та магнітних властивостей. Основними параметрами, що характеризують електромагнітне поле, є: частота, довжина хвилі та швидкість поширення. Електромагнітні поля оточують нас всюди, але ми не можемо їх відчутти і взагалі помітити, тому ми не бачимо випромінювань міліцейського радара, не бачимо променів, що надходять від телевізійної вежі або лінії електропередачі.

Природні джерела електромагнітних полів поділяють на дві групи. Перша - поле Землі - постійне електричне та постійне магнітне поле. Друга

група – радіохвилі, що генеруються космічними джерелами (Сонце, зірки тощо), атмосферні процеси – розряди блискавок тощо. Природне електричне поле Землі створюється надмірним негативним зарядом лежить на поверхні; його напруженість зазвичай становить від 100 до 500 В/м. Грозові хмари можуть збільшувати напруженість поля до десятків, або навіть сотень кВ/м. Друга група електромагнітних природних полів характеризується широким діапазоном частот [6].

Антропогенні джерела також поділяються на 2 групи. Перша група - джерела низькочастотних випромінювань (0 – 3 кГц). Ця група включає всі системи виробництва, передачі та розподілу електроенергії (лінії електропередачі, трансформаторні підстанції, електростанції, різні кабельні системи), домашню та офісну електро- та електронну техніку, в тому числі і монітори ПК, транспорт на електроприводі, залізничний транспорт та його інфраструктуру, а також метро, тролейбусний та трамвайний транспорт.

Вже сьогодні електромагнітне поле на 18-32% території міст формується внаслідок автомобільного руху. Електромагнітні хвилі, що виникають при русі транспорту, створюють перешкоди теле- і радіоприйому, а також можуть шкідливо впливати на організм людини. Транспорт на електропривод є потужним джерелом магнітного поля в діапазоні від 0 до 1000 Гц. Залізничний транспорт використовує змінний струм. Міський транспорт – постійний. Максимальні значення індукції магнітного поля у приміському електротранспорті досягають 75 мкТл, середні значення – близько 20 мкТл. Середні значення на транспорті з приводом постійного струму зафіксовані лише на рівні 29 мкТл. У трамваїв, де зворотний провід - рейки, магнітні поля компенсують один одного на набагато більшій відстані, ніж у дротів тролейбуса, а всередині тролейбуса коливання магнітного поля невеликі навіть при розгоні. Але найбільші коливання магнітного поля – у метро. При відправленні складу величина магнітного поля на платформі становить 50-100 мкТл та більше, перевищуючи геомагнітне поле. Навіть коли поїзд давно зник у тунелі, магнітне поле не повертається до колишнього

значення. Лише після того, як склад пройде наступну точку підключення до контактної рейки, магнітне поле повернеться до старого значення. Щоправда, іноді не встигає: до платформи вже наближається наступний поїзд і за його гальмування магнітне поле знову змінюється. У самому вагоні магнітне поле ще сильніше - 150-200 мкТл, тобто вдесятеро більше, ніж у звичайній електричці.

Друга група – джерела високочастотних випромінювань (від 3 кГц до 300 ГГц). До цієї групи відносяться функціональні передавачі – джерела електромагнітного поля, що використовуються з метою передачі чи отримання інформації. Це комерційні передавачі (радіо, телебачення); радіотелефони (авто-, радіотелефони, радіо СВ, аматорські радіопередавачі, виробничі радіотелефони); спрямований радіозв'язок (супутниковий радіозв'язок, наземні релейні станції); навігація, що використовується в повітряному сполученні, судноплаванні; локатори (судноплавання, контроль за повітряним транспортом). До цієї групи відноситься й технологічне обладнання, що використовує СВЧвипромінювання – змінні (50 Гц - 1 МГц) й імпульсні електромагнітні поля, побутове обладнання (НВЧ-печі), засоби візуального відображення інформації на електронно-променевих трубках (монітори ПК, телевізори тощо). В медицині для наукових досліджень застосовують струми ультрависокої частоти, електромагнітні поля яких також викликають певну професійну шкідливість. Ступінь біологічного впливу електромагнітного поля на організм людини залежить від його напруженості, частоти коливань та інтенсивності, режиму генерації (імпульсне, безперервне), тривалості опромінення. Біологічний вплив полів різних частотних діапазонів неоднаковий. Чим коротше довжина хвилі, тим більшою енергією вона володіє. Високочастотні випромінювання можуть іонізувати атоми або молекули в соматичних клітинах, що викликає порушення стандартних, протікаючих у них процесів. Електромагнітні коливання довгохвильового діапазону хоч і не вибивають електрони із зовнішніх оболонок атомів і молекул, але здатні нагрівати органічні тканини

в результаті надання молекулам теплового руху. Причому, це тепло є внутрішнім, що є особливо небезпечним для організму людини. Первинним проявом дії електромагнітної енергії є нагрів, який може призвести до змін і навіть до пошкоджень тканин і органів. Механізм поглинання енергії ЕМП живими тканинами організму людини досить складний. Найбільш чутливими до дії електромагнітних полів є центральна нервова (суб'єктивні відчуття при цьому – підвищена стомлюваність, головні болі) та нейроендокринна системи. Можливі також зміна частоти пульсу, судинних реакцій. Описано зміни кровотворення, порушення з боку ендокринної системи, метаболічних процесів, захворювання органів зору. Особливо чутливі до негативного впливу електромагнітних полів ембріони й діти. Було встановлено, що клінічні прояви впливу ЕМП найбільш часто характеризуються астеничними, астеновегетативними і гіпоталамічними синдромами:

1. Астеничний синдром. Цей синдром, як правило, спостерігається в початкових стадіях захворювання і характеризується скаргами на головний біль, підвищену стомлюваність, дратівливість, порушення сну, періодично виникаючими болями в області серця.

Футуристи малюють картини найближчого майбутнього. Гібриди та електрокари отримають приблизно стільки ж електроніки, як авіалайнер. Системи автопілотування візьмуть під управління тисячі електрокарів, перетворивши потік на організовану зграю, що підпорядковується командам супермозку. Через електронні хмари потечуть терабайти інформації, а забезпечувати енергією це господарство мають тисячі зарядних станцій імплантованих в асфальт. Навантаження на електростанції зросте у тисячі разів. І зі зростанням потоків енергії підніметься тло електромагнітного випромінювання. Чи не погрожуємо ми людей у гонитві за "екологічним транспортом"?

Дослідження електромагнітних полів у електрокарах та гібридах проводяться з моменту їх появи. Причому навіть у тих країнах, де цей транспорт не дуже поширений. В огляді Інституту земного магнетизму,

іоносфери та поширення радіохвиль ім. Н. В. Пушкова РАН наведено цікаві дані. Найбільш сильні поля спостерігаються в гібридах, у яких батарея розташована у багажнику та під заднім сидінням, а мотор-генератор спереду. Струм тече через весь автомобіль до акумуляторів і назад. Виходить не автомобіль, а заряджений контур, який рухається у просторі та генерує електромагнітне випромінювання (ЕМІ), максимальне поле якого знаходиться в області тазу водія.

Фахівці Технічного університету швейцарського міста Біль дійшли дещо інших даних. Їх дослідження встановили, що під час інтенсивних прискорень і рекуперативних гальмувань, коли поля генерувалися з більшою силою, місце на задньому сидінні виявилось вп'ятеро небезпечнішим за водійське. Страшно навіть уявити, яку порцію ЕМІ отримує дитина, яка сидить там у дитячому кріслі.

Чим потужніший електромобіль, тим сильніший він фонить. За результатами досліджень, проведених армійською групою Army TACOM у співпраці з Chrysler, з'ясувалося, що потужні гібриди при силі струму 200 А під час розгону генерують поле 120 мкТл в районі заднього сидіння, а просторові градієнти сягають 1000 мГ. Тим, кому ці цифри нічого не кажуть, скажу, що приблизно стільки ж випромінювання одержують машиністи електропоїздів за цілу зміну.

Спочатку здається, що це нісенітниця. Ми вже більше століття їздимо у трамваях, тролейбусах, електропоїздах метро та в приміських електричках, а поля генеруються холодильниками, пральними машинами та іншими побутовими приладами. І здається, що людина давно звикла до них. Проте не все так просто.

Не так важлива сила і величина магнітного поля, скільки його мінливість. Якщо від промислових установок йде постійне тло, то низькочастотні поля в електрокарах та гібридах змінюються у тисячі разів за одиницю часу залежно від прискорення та рекуперативного гальмування. У цьому й полягає головна небезпека електротранспорту” [7].

Організм спочатку звикає до одного рівня ЕМІ, потім намагається підлаштуватися до іншого. А потім зовсім дезорієнтується. І навіть невелике за потужністю та частотою поле суттєво впливає на стан людини.

2. РОЗВИТОК ТА ЗНАЧИМІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Розвиток електричних і гібридних транспортних засобів з гібридною силовою установкою (ГСУ) є напрямком, який несе серйозні зміни для традиційної автомобільної промисловості, її конструкторської та технологічної бази. Ці фундаментальні перетворення забезпечують більші великі науково-технічні прориви, ніж реалізація будь-яких нових проектів в рамках традиційних форм. Великий інтерес при цьому представляє собою рішення задачі взаємодії електромобілів і відповідної структури електропостачання. Крім того, існують проблеми забезпечення якості і надійності таких автомобілів через відсутність спеціальних інструментів орієнтованих на даний сегмент транспортних засобів.

Розвиток «зелених технологій» виводить на ринок цілий ряд нових виробників відповідних компонентів та послуг, змінюється конкурентне середовище, навіть більшою мірою, ніж можна було б припускати. Найважливіше значення для успішного впровадження електромобілів і автомобілів з ГСУ по всьому світу набуває взаємозв'язок між трьома наборами технологій, а також проблема якості їх забезпечення.

Первинними проблемами проектів таких автомобілів є: зберігання електроенергії, забезпечення приводу коліс, а також реалізація алгоритмів оптимального управління рухом у різних режимах[8].

Існує також цілий ряд вторинних проблем, якими необхідно займатися для забезпечення ефективності транспортних засобів: зниження ваги, аналіз витрат і отримання вигоди від використання нових дорогих матеріалів і т.п.

Підвищення рівня щільності енергії збереженої в тяговій

аккумуляторній батареї (ТАБ), при зниженні маси транспортного засобу дозволяє забезпечити конкурентні переваги екологічних автомобілів в порівнянні з традиційними. Однак, в останнє десятиліття, у зв'язку з підвищенням значущості електронних компонентів в автомобільній промисловості, поряд з позначеними вище завданнями розкриваються проблеми оптимізації управління системами електромобілів і гібридних автомобілів, і забезпечення відповідного рівня якості управління.

Накопичувачем енергії у електро/гібридних транспортних засобах являє собою тягова аккумуляторна батарея (ТАБ). Щільність енергії ТАБ все ще далека від оптимальної, і тому всі аспекти проектування електромобілів і автомобілів з ГСУ повинні бути ретельно проаналізовані, з метою отримання продукту з прийнятним діапазоном технічних параметрів і вартості. Вартість ТАБ має тенденцію домінувати над відповідними економічними параметрами інших компонентів, тому високу актуальність набувають проекти, що мають середній технічний рівень, при забезпеченні зниження маси транспортного засобу.

Іншим напрямком розвитку технологій, є активний розвиток системи взаємодії транспортних засобів яка забезпечує інфраструктури. Так, для покриття мережі електричних заправок в умовах великої міської агломерації потрібно значних змін в енергетичній інфраструктурі. Дана обставина відображає необхідність реалізації заходів підтримки «зелених технологій» з боку держави. Саме тому, до цих пір електромобілі і гібридні автомобілі часто доступні тільки в преміум класі. Купівля відповідного транспортного засобу класом нижче спонсорується з боку деяких держав.

Для масового виробництва і експлуатації автомобілів з «зеленими технологіями» потрібна розробка і реалізація ефективних інструментів управління якістю роботи енергетичних мереж, впровадження інтелектуальних комплексів вимірювання. Все це забезпечує можливості для більш ефективного управління загальним завантаженням мережі[9].

Інфраструктурні питання повинні розглядатися разом з питаннями проектування і виробництва відповідної техніки. Вже зараз в деяких Європейських містах починають реалізовувати програми індукційної зарядки електромобілів, на спеціально виділених «повільних» смугах руху. Таким чином, незважаючи на наявність істотних проблем в області створення і експлуатації електромобілів і гібридних автомобілів, необхідно відзначити, що відповідні сегменти ринку знаходяться в фазі активного розвитку. Вже зараз стає зрозумілим, що впровадження екологічних видів транспорту в першу чергу впливає на великі міські агломерації Північної Америки, Західної Європи, Китаю і Японії.

Як було зазначено раніше, розвиток технологій в питаннях проектування і виробництва електромобілів і гібридних автомобілів забезпечує істотні зміни і перетворення в автомобільній галузі в цілому. На перший план виходять проблеми, пов'язані з комплексною оптимізацією всього транспортного засобу. Найважливіша компонентна область при цьому визначається системами: зберігання електроенергії, електроприводу і електронікою керування транспортним засобом. З урахуванням особливої важливості проблеми оптимізації маси автомобілів, вже зараз можна припустити, що в найближчій перспективі відбудуться технологічні прориви в напрямках оптимізації кузова, трансмісії, підвіски і т. п. Рішення ключових проблем розвитку нових технологій лежить в області комплексної інтеграції технологічних рішень [10].

Потенційні технологічні проблеми при проектуванні нових електромобілів і автомобілів з ГСУ полягають в необхідності вирішення завдань:

- розподілу маси автомобіля, що впливає на динаміку транспортного засобу;
- оптимального розподілу комплектуючих виробів всередині автомобіля, яке може вплинути на показники безпеки;

– електропередачі від ТАБ до приводу, що впливає на енергоефективність;

Однією з головних проблем у розвитку нових технологій автомобілебудування є те, що в ланцюжку створення цінності з'являються нові гравці, які в деяких випадках не мають необхідного досвіду в управлінні якістю і надійністю існуючого в автомобільній промисловості. Рішення даної проблеми вимагає налагодження нових відносин і передачі відповідного досвіду роботи. Однак, специфіка проектування і виробництва електромобілів і гібридних автомобілів має на увазі необхідність розробки нового комплексу інструментів який зможе забезпечувати необхідний рівень якості і надійності продуктів і послуг. Безсумнівно, що відправною точкою в реалізації даного завдання є використання прогресивних технологій управління якістю і надійністю, що склалися при проектуванні і виробництві компонентів системи електрообладнання традиційних автомобілів. При цьому необхідно враховувати і інфраструктурні зміни, носіями яких є нові вимоги щодо забезпечення експлуатаційної ефективності таких транспортних засобів електромагнітної сумісності, що впливає на якість функціонування транспортного засобу в цілому, а також представляє потенційну небезпеку для здоров'я водія та пасажирів.

Виробники автомобільних компонентів, для збереження власних конкурентних позицій, диверсифікуючи свої бізнес-проекти, вступають в альянси з новими компаніями, які реалізують інноваційні проекти в області екологічного автотранспорту. Новим напрямком розвитку при цьому є комплексна робота з розвитку виробничо-збутової мережі, що визначає необхідність розробки єдиних стандартів забезпечення інфраструктурних процесів для автомобілів, з урахуванням їх поєднання з традиційними виробничими і обслуговуючими структурами. Однією з ключових залишається завдання підтримки якості функціонування відповідних процесів [11].

Загальний аналіз розвитку нових технологій в автомобілебудуванні показує, що одним з важливих питань є визначення перспективних конструкцій силових агрегатів. Сьогодні лідери ринку розглядають широкий спектр технологічних рішень в даній області, які в основному пов'язані з джерелами енергії: біопаливо, паливні елементи, електричні технології і т. п.

Mercedes-Benz, GM, VW, Toyota і інші виробники розглядають технології, засновані на застосування паливних елементів, з метою досягнення довгострокових перспектив розвитку, з урахуванням складності рішення інфра-структурних проблем експлуатації електромобілів і гібридних автомобілів. Проте, успіх паливних елементів залежить від розробки економічно ефективних технологій використання водню, а також рішення приблизно тих же інфраструктурних питань. Біопаливо, також знаходиться під пильною увагою автовиробників, проте його широке застосування обмежене недостатніми виробничими потужностями отримання і переробки ресурсів.

З точки зору забезпечення робочого циклу транспортних засобів, не так явно проглядаються переваги електромобілів і гібридних автомобілів в порівнянні з іншими технологіями. У сучасних умовах використання електричних технологій в якості способу зниження викидів CO₂ як і раніше економічно дороге рішення. Поки що можна говорити про підвищення паливної та екологічної ефективності традиційних автомобілів з ДВЗ. Однак в найближчій перспективі електричні технології можуть стати кращими з причин:

- наявності великого дослідницького потенціалу в цій галузі;
- реалізації розвиненими країнами державних програм підтримки відповідних технологій та розуміння автовиробників і компонентного кластера, що розширення спектра технологій призведе до ускладнення структури ринку і конкуренції між виробниками різних транспортних засобів.

Аналіз експертних прогнозів розвитку автомобілебудування показує, що знадобиться чимало часу для того, щоб нові технології стали домінуючими. Основною причиною такого становища є те, що автовиробники не дуже зацікавлені в глобальних змінах і не завжди готові здійснити кардинальний перехід від технологій, які розроблялися і застосовувалися десятиліттями [12].

Електропривод і ТАБ на екологічному автотранспорті стають найбільш важливими елементами. Саме тому найбільші зусилля компонентного кластера направлено на забезпечення високого рівня якості даних елементів. По суті, велика частина успіху в розширенні ринку електромобілів і гібридних автомобілів, сьогодні, залежить від вирішення проблеми підвищення надійності та довговічності функціонування виділених компонентів. Таке критичне визначення даної проблеми не випадково.

Традиційно, акумулятори не грали ключову роль в транспортних системах з двигуном внутрішнього згоряння. Роль акумуляторів була обмежена забезпеченням: пуску і запалювання ДВЗ, зовнішнім і внутрішнім освітленням. Решта ключових процесів, протягом довгого часу реалізовувалися бензиновими або дизельними силовими агрегатами.

Підвищення частки електронних і електротехнічних компонентів на борту транспортного засобу зажадало підвищення вихідної потужності генераторної установки, а також поліпшення технічних параметрів ТАБ. Однак, це ні в яке порівняння не йде з процесами переходу транспорту на електричні технології. По суті, сьогодні, необхідне переосмислення архітектури транспортного засобу. При істотні обмеження в масі і габаритах автомобіля, необхідно забезпечити установку системи зберігання електроенергії, а також вирішити задачу обмеження енергоспоживання. Так, наприклад, в традиційних конструкціях автомобілів з ДВЗ, функцією гальмівної системи є власне забезпечення ефективного гальмування транспортного засобу. Для електромобілів і гібридних автомобілів дана

функція розширюється за рахунок реалізації електротехнічної системи рекуперації енергії.

Уловлювання піків електроенергії протягом короткого проміжку часу, а також її надійне зберігання є функцією ТАБ, але навіть сучасні технології літій-іонних батарей, які використовуються на транспорті, обмежені в здатності приймати енергію високого заряду протягом короткого проміжку часу. Істотна частина енергії рекуперації не зберігається в ТАБ, випромінюється у вигляді тепла. Ще однією проблемою в даному випадку є перегрів і деградація сучасних ТАБ, при впливі високих струмів. Існують кілька напрямків вирішення цих проблем: розробка і впровадження електронних систем управління роботою ТАБ; використання суперконденсаторів (наприклад, як на автомобілі Supra HV-R Hybrid) для захоплення піків енергії. Однак висока вартість таких технологій обмежує їх застосування [13].

Одним з найбільш важливих технологічних питань, що потребує як найшвидшого вирішення при проектуванні і виробництві електромобілів і гібридних автомобілів є підвищення щільності енергії ТАБ. Щільність енергії визначається її кількістю, накопиченої на одиницю маси або об'єму пристрою накопичувача.

Вимоги по ефективності ТАБ для автомобілів з ГСУ відрізняються від відповідних вимог для електромобілів. Для них, значний обсяг енергії повинен зберігатися для забезпечення транспортних функцій в установленому діапазоні параметрів. Для гібридних автомобілів існує додаткова енергетична підтримка з боку ДВЗ. Поліпшення технічних характеристик ТАБ можливо, однак існують ризики економічного характеру. Тому головна мета розвитку батарей для електромобілів є максимізація щільності енергії, запасеної на одиницю об'єму без істотного подорожчання системи.

Відомо, що старі технології свинцево-кислотних батарей забезпечують питому енергоемність на рівні 90 Вт·год/кг. Літійово-іонні елементи сьогодні

забезпечують питому енергоємність рівну 175 Вт·ч/кг. Теоретичний максимум для таких батарей визначається більш ніж в 300 Вт·ч/кг. Можливо, що поліпшення характеристик ТАБ пов'язано з поєднанням літій-іонних технологій і супер-конденсаторів, при цьому може бути досягнута дуже висока питома потужність з високою щільністю енергії і великим терміном служби.

Для гібридів, необхідної щільності енергії можна досягти через існуючі технології. Використання літію з високою теоретичною щільністю енергії, в якості катода, і повітря в якості анода є комбінацією, яка може забезпечити створення ТАБ з високою щільністю енергії. Однак в даний час дана технологія знаходиться в експериментальній області. Ще одним важливим проблемним питанням залишається проблема життєвого циклу ТАБ, а точніше її довговічність. В умовах переходу ТАБ від режиму заряду в область розряду призводить до зниження довговічності. Збільшення кількості циклів перезарядки ТАБ, також істотно впливає на її ефективність. Наступним проблемним питанням ТАБ є її вартість. При розгляді даного питання необхідно враховувати, що витрати на паливо продовжують рости, а ціни на ТАБ вже в найближчі 20 років будуть зменшуватися з вдосконаленням технології їх виробництва.

Вартість технології виробництва одиниці ТАБ для електромобілів і гібридних автомобілів сьогодні знаходиться в діапазоні від 750 до 2000 у. о. Вона в більшій мірі залежить від застосовуваних у виробництві матеріалів. Інтеграція систем управління або охолодження з ТАБ практично подвоює цю вартість. Вартість китайських літій-іонних батарей значно нижче, і становить близько 400 у. о., але при цьому істотно зростають ризики недостатньої якості і надійності [14].

Забезпечення безпечної експлуатації ТАБ залишається однією з проблемних областей, як для електромобілів, так і для автомобілів з ГСУ.

При розробці систем ТАБ необхідно впроваджувати надійні засоби захисту: відключення сепаратора (для запобігання перегріву); зниження внутрішнього тиску; скидання тиску і теплового переривання.

Незважаючи на те, що потенціал літій-іонних технологій ТАБ не вичерпаний, експерти сходяться на думці, що вже через 5 років можуть з'явитися нові розробки в галузі матеріалознавства.

Сьогодні активно обговорюється питання про застосування в ТАБ матеріалів на основі літію, наприклад, титанату-літію, або оксиду-кремнію. Ці нові матеріали анода ТАБ забезпечують більш високий потенціал і кращі характеристики при низьких робочих температурах, ніж традиційний графіт.

Два матеріалу, які в даний час активно впроваджуються в електричні технології автомобілебудування це: фосфат-літію-заліза і титанат-літію (ТЛ). ТАБ на основі ФЛЗ здатні забезпечити більше 1500 циклів перезарядки, з прийнятним рівнем щільності збереженої енергії. ТЛ має набагато більш високі потенційні можливості - близько 5000 циклів. Однак, менша щільність збереженої енергії робить дану технологію більш кращою для виробництва електромобілів і гібридних автомобілів. Конструкція сучасної ТАБ електромобіля або автомобіля ГСУ наведена на рисунку 2.

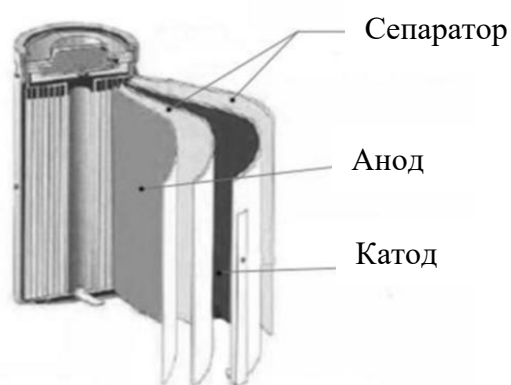


Рис. 2 – Конструкція сучасної ТАБ електромобіля або автомобіля ГСУ

Літій-іонний акумулятор (рисунок 3) складається з електродів (катодного матеріалу на алюмінієвій фользі і анодного матеріалу на мідній

фользі), розділених пористим сепаратором, просоченим електролітом. Пакунок електродів поміщений в герметичний корпус, катоди і аноди приєднані до клемструмозійомника. Корпус іноді оснащують запобіжним клапаном, скидальним внутрішній тиск при аварійних ситуаціях або порушеннях умов експлуатації. Літій-іонні акумулятори розрізняються за типом використовуваного катодного матеріалу. Переносником заряду в літій-іонному акумуляторі є позитивно заряджений іон літію, який має здатність впроваджуватися (інтеркалюватися) в кристалічну решітку інших матеріалів (наприклад, в графіт, оксиди і солі металів) з утворенням хімічного зв'язку, наприклад: в графіт з утворенням LiC_6 , оксиди (LiMnO_2) і солі (LiMnRON) металів.

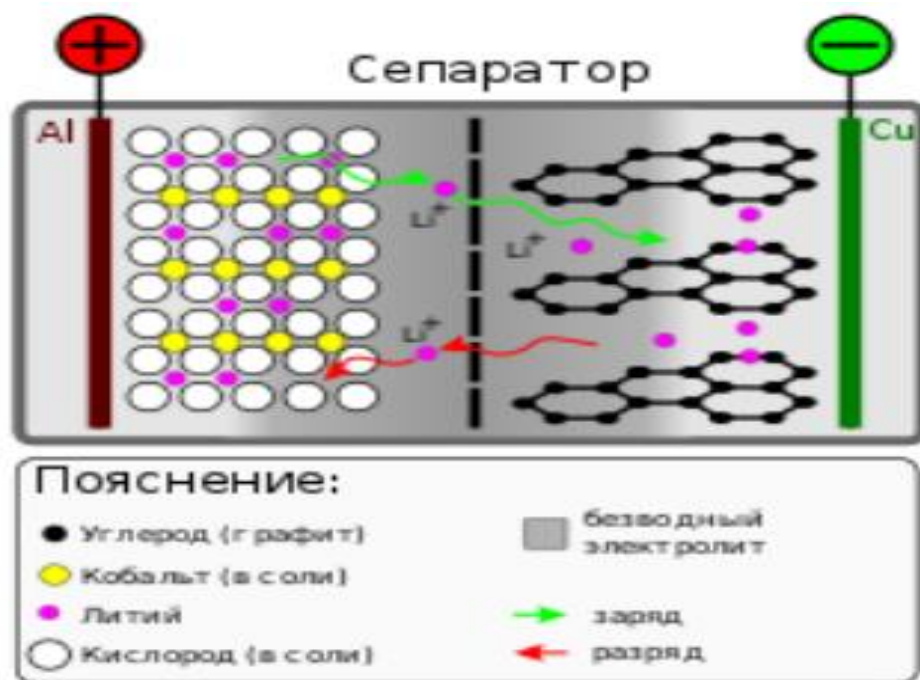


Рис. 3. Літій-іонний акумулятор. Схема роботи

Літій-іонні акумулятори застосовуються в комплекті з системою контролю і управління - СКУ або BMS (battery management system), - і спеціальним пристроєм заряду/розряду. В даний час в масовому виробництві літій-іонних акумуляторів використовуються три класи катодних матеріалів - кобальтат літію LiCoO_2 і тверді розчини на основі ізоструктурні йому нікелата літію - літій-марганцева шпінель LiMn_2O_4 - літій-феррофосфат

LiFePO_4 . Завдяки низькому саморозряду і великій кількості циклів заряду/розряду, Li-ion -акумулятори найкращими є для застосування в альтернативній енергетиці. При цьому, крім системи СКУ вони укомплектовуються інверторами (перетворювачі напруги) [15].

Глибокий розряд повністю виводить з ладу літій-іонний акумулятор. Також на життєвий цикл акумуляторів впливає глибина його розряду перед черговою зарядкою і зарядка струмами вище встановлених виробником. Через низький внутрішній опір акумулятора зарядний струм сильно залежить від напруги на його клеммах під час зарядки. Струм зарядки залежить від різниці напруг між акумулятором і зарядним пристроєм і від опору як самого акумулятора, так і підводяться до нього проводів. Збільшення напруги зарядки на 4% може призводити до збільшення струму зарядки в 10 разів, що негативно позначається на акумуляторі, при недостатньому відводі тепла він перегрівається і деградує. В результаті, якщо напруга на акумуляторі перевищити всього на 4%, він буде вдвічі швидше втрачати ємність від циклу до циклу.

Сьогодні, багато виробників автомобільних ТАБ зосередилися на розвитку технологій застосування фосфату літію-заліза (ФЛЗ) через його високої стабільності параметрів і відносно низькій вартості. Розрахунки показують, що технології застосування ФЛЗ, в довгостроковій перспективі можуть забезпечити виробництво ТАБ вартістю 350 у. о. Однак, такі ТАБ мають меншу довговічність ніж використовувані зараз літій-іонні аналоги.

При критичному розгляді існуючих конструкцій батарей в першу чергу слід виділити відповідні технології виробництва катода (рис. 1.3). ТАБ збільшеної потужності створюються за допомогою тонких електродів, але це знижує термін служби, безпеку, і збільшує витрати. Електродні матеріали напилюються на тонку металеву підкладку, яка також служить в якості колектора струму. Дослідження анодних матеріалів показує істотний потенціал розвитку технологій на основі оксиду-олова, в порівнянні з застосовуваними в даний час графітовими аналогами. Однак існують

проблеми технологічної стабільності у виробництві таких матеріалів для масового виробництва автомобілів.

В Японії ведуться розробки срібних анодів ТАБ, даний варіант є більш дорогим. Сьогодні, лідерами в області розробок технологій виробництва анодів і катодів ТАБ є компанії DuPont, 3M і IBM. Однак, технології виробництва анода і катода ТАБ - це всього лише невелика частка в ланцюжку створення вартості сучасних батарей. Чималу роль в плані розробки і виробництва ТАБ займає сепаратор. Сепаратори літій-іонних ТАБ (рис. 4), необхідні для забезпечення надійного зберігання енергії високої щільності. Їх виготовляють з шаруватих поліолефінів з пористістю 50 %. Сепаратори виконують дві функції: надійне позиціонування позитивних і негативних електродів, а також захист ТАБ в разі перегріву. При підвищенні температурного режиму роботи батареї відбувається закриття пір полімерної сітки, тим самим обмежується коло по току і зменшується зростання температури. Таким чином, забезпечується безпечна експлуатація ТАБ, однак оплавлення сепаратора при високих температурах призводить до необхідності заміни батарей і дорогого ремонту транспортного засобу. Компанії BASF і Celguard проводять дослідження в області нових матеріалів для виробництва сепараторів.

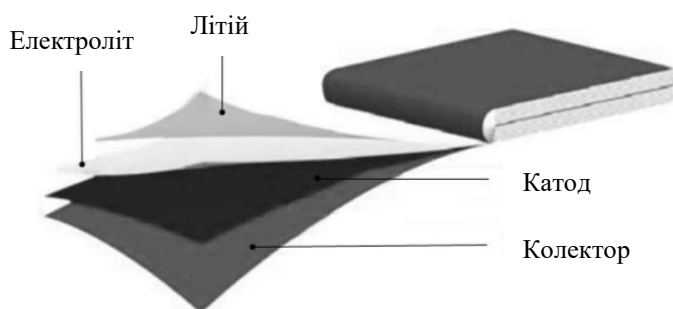


Рис. 4 – Типова конструкція літій-іонної батареї

В сучасних ТАБ, в якості електроліту зазвичай використовується розчин літійової солі в органічному розчиннику. Більшість сучасних солей

являють собою сполуки фтору, який при відносній безпеці експлуатації має прийнятні техніко-економічні показники.

Більшість автомобільних конструкцій ТАБ передбачають реалізацію батарей у вигляді сот, або клітин, які мають циліндричну або призматичну форми. Силовий каркас літій-іонних батарей спочатку виготовлявся з нержавіючої сталі, хоча останнім часом цей матеріал замінили алюмінієм, який має меншу вагу і вартість. Матеріал каркаса повинен бути досить жорстким, щоб забезпечити виконання експлуатаційних вимог [16].

Необхідність забезпечення безпеки літійово-іонних батарей вимагає обов'язкового впровадження системи управління обмежує перезарядку. Вартість системи управління підвищує загальну вартість батарей, а з урахуванням, того, що конструкція ТАБ електромобіля або автомобіля з ГСУ включає в себе від 4 до 8 сот, ускладнюється і система управління, яка контролює процеси зарядки і розрядки.

Тягові електродвигуни електромобілів і гібридних автомобілів виконують функції забору енергії з ТАБ і забезпечення руху транспортного засобу. На відміну від традиційно використовуваних в автомобілебудуванні електростартер або електропідсилювачем рульового управління, тягові електродвигуни повинні мати більшу потужність і як наслідок великими масогабаритними характеристиками.

Автомобільні тягові електродвигуни (рис. 5) мають ряд переваг в порівнянні з ДВЗ. Двигуни внутрішнього згорання, як правило, не в змозі забезпечити достатній крутний момент на низьких швидкостях. Приблизно 10 % потужності ДВЗ необхідно для підтримки постійної швидкості руху рівній 50 км/год, в той час як 90% потужності використовується тільки в режимах прискорення або руху на високій швидкості.

Конструкція тягового електродвигуна забезпечує максимальний крутний момент вже в момент старту автомобіля, що дозволяє знижувати його номінальну потужність. Електродвигуни забезпечують необхідний крутний момент в широкому діапазоні частоти обертання ротора [17].



Рис. 5 – Загальний вигляд тягового електродвигуна

Хоча електродвигуни знайшли широке застосування в сучасній техніці, необхідність значного підвищення параметрів потужності, для забезпечення вимог автомобільного виробництва, є порівняно новим завданням. Тягові електродвигуни, які використовуються на транспорті, працюють на високих частотах обертання і потребують ефективного охолодження.

Елементи електродвигуна нагріваються не тільки через втрати в активних його частинах, а й через сусідство з нагріваючими елементами трансмісії. При експлуатації транспортного засобу температура повинна регулюватися, з метою підтримки необхідності вихідних електромеханічних характеристик, а також для захисту від теплового пошкодження електродвигуна і поруч встановлених компонентів. В автомобільних тягових електродвигунах через обмеженість габаритів і високих електромагнітних навантажень повітряне охолодження малоефективно і в більшості випадків неприйнятно. Такі системи вимагають рідинного охолодження [18].

Ще порівняно недавно, перспективи розвитку електромобілів і гібридних автомобілів розглядалися вельми скептично. Основні проблеми в реалізації електричних технологій на транспорті були пов'язані з неможливістю забезпечити мінімальні вимоги споживачів експлуатувати автомобілі навіть в міських умовах. Низький інтервал пробігу між циклами перезарядки ТАБ, невисокий рівень динаміки, відсутність необхідної

інфраструктури – це лише частина проблем, які необхідно вирішити, перш ніж випустити на ринок електроавтомобілі і автомобілі з гібридною силовою установкою. Сьогодні, відбувається зміна у свідомості експертного співтовариства в частині розвитку відповідних технологічних напрямків.

Первинний імпульс, який визначив новий етап розвитку екологічного транспорту, в середині ХХ ст. позначив два основних напрямки електричних технологій: електромобілі і гібридні автомобілі. Поточне розуміння необхідності подальших розробок у цій галузі визначається додатковими аспектами: зростання цін і обмеження видобутку енергоресурсів.

Таким чином, вже зараз можна говорити про закладений фундамент в питаннях актуалізації та розвитку електричних технологій на транспорті. У розвинених країнах працюють спеціалізовані експертні групи, метою яких є зміна свідомості суспільства в розумінні екологічних проблем і ролі електротранспорту в їх вирішенні.

Намітився в останні десятиліття технічний прорив в галузі електричних технологій транспорту, що забезпечує формування оптимістичного сценарію розвитку автомобілебудування в відповідному тренді.

Все позначене вище, є свого роду двигуном процесу розвитку електромобілів і гібридних автомобілів. Але при цьому є і суттєві обмеження, що впливають на розширення екологічних проектів до рівня масовості. Серед яких, цілий ряд володіють ключовими особливостями положень:

- поява нових гравців на ринку розробки та виробництва компонентів, що призводить до ризиків недостатньої якості і надійності елементної сполуки автомобілів;
- обмеження у видобутку і висока вартість рідкоземельних матеріалів використовуваних при виробництві тягових електродвигунів;
- нерозвинена інфраструктура забезпечення експлуатаційної ефективності електромобілів і гібридних автомобілів.

Перелік розкритих в ході роботи достоїнств і недоліків електротехнічних проектів транспортних засобів, по суті, являють собою

матрицю менеджменту, з розгляду якої необхідно позначити прогноз розвитку відповідних транспортних технологій. Однак складність вирішення даного завдання полягає в приблизно рівноцінності виділених плюсів і мінусів.

Зараз можна говорити лише про глобальне розвитку напрямку екомобілів. Лідера в наукових розробках і технологіях транспорту на паливних елементах, біопаливі або з використанням електричних технологій поки немає. Але що безперечно - розвиток електротехніки та електроніки в сучасних умовах є фундаментальною основою розвитку транспортного сектора. В умовах недостатнього забезпечення якості та надійності традиційних систем електрообладнання автомобілів, відповідні проблеми будуть супроводжувати і новим електротехнічним комплексам [19].

Експертні оцінки за обсягами ринку електромобілів і гібридних автомобілів (IHS Automotive) приблизно складають 900 тис. од. за 2019 р. Найближчим часом, вражаюче зростання буде демонструвати китайський ринок нових транспортних технологій. Це пов'язано з наявністю ресурсної і виробничої баз, а також з перспективами розвитку науково-технічного сектора. Державна електромережна корпорація Китаю спільно з енергетичними гігантами оголосили про плани розробки і реалізації проекту будівництва мережі зарядних станцій. Проект настільки амбіційний, що має на увазі наявність не менше 10 тис. станцій вже до 2022 р.

Як і раніше, ми можемо говорити лише про використання електромобілів в якості міського транспорту, тому поліпшення якості життя населення в розвинених країнах, а також розуміння важливості вирішення екологічних проблем, швидше за все, призведе до того, що екомобіль стане другим автомобілем в сім'ях. Приблизно така ж картина чекає і комерційний транспорт. Легкий і середньотоннажний комерційний транспорт, який працює в міських умовах в перспективі може бути переведений на електричні технології.

Одним з можливих рішень проблеми розширення парку таких транспортних засобів є розвиток сервісних технологій передачі транспортних засобів на прокат, або розвиток мережі таксі.

Сьогодні державні структури в ряді країн, з метою забезпечення власної незалежності на енергетичному ринку активно підтримують інноваційні починання в області електромобілів і гібридних автомобілів. Однак практика показує, що така підтримка обмежується 5-10 літнім періодом, після якого відповідальність за реалізацію проектів переходить в бізнес-середовище. Питання про можливості бізнесу в частині повної самостійності вирішення проблем проектування, виробництва і експлуатації таких складних систем, якими є електромобілі і гібридні автомобілів залишається відкритим [20].

3. ЕНЕРГЕТИЧНІ ВИТРАТИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Автомобіль відповідно за принципом його дії, здійснює механічну роботу за рахунок сили тяги, яка додається до ведучих коліс автомобіля, і базуючись на розгорнутому рівнянні тягового балансу автомобіля, прийнятого в теорії автомобіля, для загального випадку прямолінійного руху автомобіля ця робота повинна визначатися за формулою:

$$A = F_K \cdot S = [m \cdot g \cdot \psi + W_B (v_a \pm v_B)^2 \pm m \cdot b \cdot a] \cdot S, \quad (1)$$

де: A – робота, Дж (Н · м);

F_K – сила тяги, Н;

S – шлях, м;

$m = m_a + m_c$ – повна маса автомобіля, кг;

m_a – власна маса автомобіля, кг;

m_r – маса корисного вантажу, кг;

$\psi = f \pm i$ – коефіцієнт опору дороги;

f – коефіцієнт опору коченню;

i – поздовжній ухил дороги (знак «+» відповідає руху на підйомі, знак «-» - на спуску);

W_B – фактор обтічності, $\text{H} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$;

v_a – швидкість руху автомобіля, $\text{м}/\text{с}$;

v_B – швидкість вітру, $\text{м} / \text{с}$ (знак «+» ставитися до зустрічному вітрі, знак «-» - до попутному);

$m \cdot b \cdot a$ – сила інерції, H (знак «+» відповідає прискоренню, знак «-» - уповільнення);

b – коефіцієнт обліку обертових мас автомобіля;

$a = v_a/dt$ – абсолютна величина прискорення або уповільнення, $\text{м}/\text{с}^2$.

При цьому для випадку переміщення автомобіля всталому режимі (рух при постійній швидкості) і при відсутності вітру маємо

$$A = F_K \cdot S = (m \cdot g \cdot \psi + W_B v^2) \cdot S, \quad (2)$$

Беручи до уваги те, що автомобіль є силовою машиною. А продуктивність силових машин, як відомо з курсу фізики, прийнято оцінювати їх потужністю, і базуючись на розгорнутому рівнянні потужного балансу, прийнятому в теорії автомобіля, слід в якості вимірювача продуктивності автомобіля прийняти потужність на ведучих колесах автомобіля, яка в будь-який момент часу руху автомобіля дорівнює

$$P = N_K = F_K \cdot v_a \cdot 10^{-3} = [m \cdot g \cdot \psi + W_B (v_a \pm v_B)^2 \pm m \cdot b \cdot a] \cdot v_a \cdot 10^{-3} S, \quad (3)$$

де P – продуктивність автомобіля, кВт;

N_K – потужність автомобіля (потужність на його провідних колесах, кВт).

Як видно, продуктивність дорівнює добутку сили (сили тяги) на швидкість. При цьому для випадку руху автомобіля при постійній швидкості і відсутності вітру матимемо

$$P = N_K = F_K \cdot v_a \cdot 10^{-3} = (m \cdot g \cdot \psi + W_B \cdot v_a^2) v_a \cdot 10^{-3}. \quad (4)$$

В даний час серед оціночних показників автомобіля особливе місце повинні зайняти показники паливної економічності. При цьому в якості узагальнюючого (інтегрального) показника паливної економічності автомобіля доцільно користуватися коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Як відомо, для будь-якої системи ККД визначається за формулою

$$\eta = E_{\Pi} / E, \quad (5)$$

де E_{Π} – енергія, корисно використана системою;

E – енергія отримана системою.

Слід визнати, що ККД автомобіля - вкрай необхідне поняття, що дозволяє не тільки оцінювати паливну економічність автомобіля, але і найбільш повно і «неупереджено» порівнювати автомобілі і вибирати правильні напрямки їх вдосконалення.

Під терміном ККД автомобіля, розуміється відношення потужності N_K , тобто потужність підведеної до ведучих коліс (розвивається автомобілем потужність) до витраченої - потужності $N_3 = q G$, тобто потужності підведена до автомобіля. Тому ККД автомобіля, як силової установки, і представляється відношенням потужності N_K до потужності N_K

$$\eta = \eta_{cy} = \frac{N_k}{N_3} = \frac{N_k}{q \cdot G} \quad (6)$$

де η – ККД автомобіля як силової установки;

$\eta_a = \eta_{cy}$ – низька теплота згорання;

Отже, те, що потужність N_K , є корисною, не викликає сумніву, якщо розглядати автомобіль лише як силову установку.

При розгляді руху автомобіля визнано доцільним мати справу не з коефіцієнтом тертя кочення f' , а коефіцієнтом опору коченню f , що визначається за формулою

$$f = \frac{F_f}{P} \quad (7)$$

де F_f – прикладена до колеса сила, Н;

P – повна вага автомобіля, Н.

При такому підході сила F_f необхідна для підтримки рівномірного руху автомобіля, повинна визначатися за формулою

$$F_f = f \cdot P = f \cdot m \cdot g. \quad (8)$$

Але в дійсності рівномірному руху перешкоджає сила. У реальних дорожніх умовах виникає сила підйому і сила опору повітряного середовища.

Відповідно до таким підходом загальна формула, що характеризує процес рівномірного руху автомобіля, має такий вигляд

$$F_K = F_f + F_a + F_B = m \cdot g (f \pm i) + W_B \cdot v_a^2 = m \cdot g \cdot \psi + W_B \cdot v_a^2 \quad (9)$$

де F_K – сила, прикладена до ведучих коліс автомобіля, Н;

i – ухил дороги;

$\psi = f \pm i$ – коефіцієнт опору дороги.

Як відомо, рівняння, представлене формулою, носить назву рівняння тягового балансу.

Як видно, права частина характеризує не величину втрат, а зовнішню по відношенню до автомобіля силове навантаження, на подолання якої витрачається сила F_K , в результаті чого автомобіль пересувається по дорозі.

Якщо ліву і праву частину рівняння помножити на величину $v \cdot 10^{-3}$, то можна отримати рівняння, яке носить назву рівняння потужного балансу

$$N_K = (m \cdot g \cdot \psi + W_B \cdot v^3) \cdot 10^3 \quad (10)$$

На підставі вище викладеного ККД автомобіля, як силової установки, визначається за формулою

$$\eta = \eta_{cy} = \frac{N_k}{N_3} = \frac{N_k}{q \cdot G} = \frac{(m \cdot g \cdot \varphi + W_B \cdot V_a^2) \cdot 10^{-3}}{q \cdot G} \quad (11)$$

Для обґрунтування правомірності такого підходу до розрахунку ККД автомобіля як силової установки, розглянемо зміни витрати палива і електроенергії гібридного автомобіля в залежності від середньої швидкості руху автомобіля.

Електричні тягові системи мають набагато менше втрат енергії, ніж системи з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ). ККД існуючих ДВЗ гібридних силових установок (ГСУ) становить 32...36 %, тому тільки близько 3 кВт · год/кг вихідної питомої енергії палива корисно використовується на виході ДВЗ [21].

Ступінь використання енергії електрохімічного акумулятора набагато вище, а ККД електродвигунів складає 85...90 %. Таким чином, рівень корисно використовуваної питомої енергії електрохімічних джерел досягає 25...30 % від наведеної величини на виході ДВЗ. Цей розрахунок показує, що значно програє в вихідній теоретичній енергії енергоносія, електричні тягові системи можуть частково компенсувати. Це при реалізації наявних можливостей більш ефективного її використання. Ця обставина має важливі значення для оцінки перспектив розвитку та оцінки технічного стану електричних тягових систем, а також для гібридного підходу до їх створення.

В основу дослідження енергетичних витрат електричної силової установки гібридного автомобіля покладено метод балансу енергії. З аналізу конструкцій і схем ГСУ слід, що будь-яка електрична силова установка складається з наступних енергетичних модулів, які здійснюють послідовні перетворення енергії; тягової акумуляторної батареї інвертора, контролера, тягового електродвигуна, трансмісії.

Загальне рівняння балансу електричної енергетичної установки гібридного автомобіля в режимі руху на електротязі складе

$$E_b + E_p = P_b + P_u + P_\varepsilon + P_{mp} + P_\delta, \quad (12)$$

де E_b – енергія акумуляторної батареї;

E_p – енергія рекуперації;

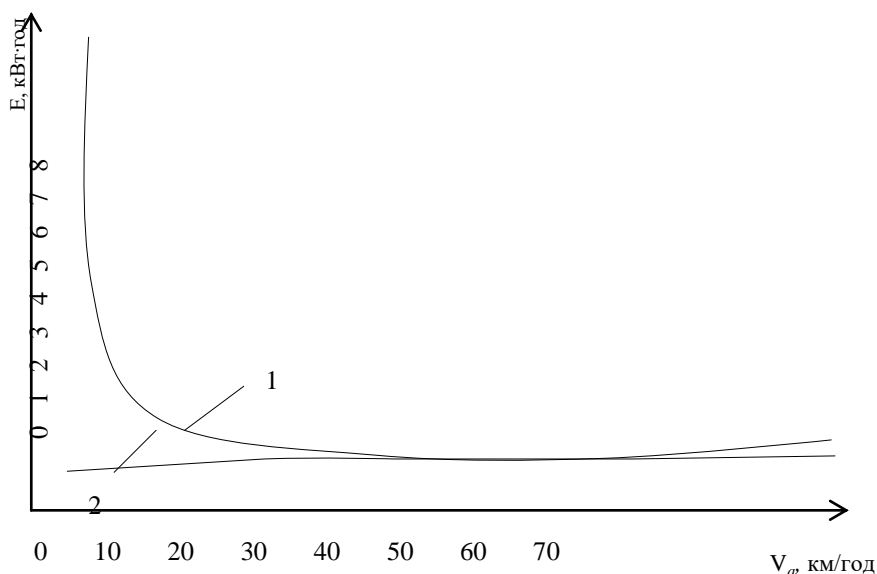
$P_b, P_u, P_\varepsilon, P_{mp}$ – втрати енергії в модулях енергетичної установки – акумуляторної батареї, інвертора, електродвигуна, трансмісії;

P_δ – втрати енергії при русі гібридного автомобіля.

Крім балансу енергії прийнято в ряді розглядати рівняння балансу потужності, який є первинним по відношенню до балансу енергії. Однак умови перевірки енергетичної установки гібридного автомобіля характеризуються сталому рухом транспортного засобу при заданій швидкості руху. У зв'язку з цим практично більшу цінність представляє баланс енергії гібридної силової установки, що складається для контрольного циклу руху [22].

Найбільш ефективним для гібридних автомобілів є випробувальний цикл в режимі швидкостей руху 30 ... 60 км / год. Тому оцінку технічного стану гібридної силової установки доцільно проводити саме для цього циклу, який визначає по швидкості руху автомобіля закінчення роботи електроустановки і початок включення роботи ДВС. Для циклових розрахунків рівняння балансу енергії дає значно більше інформації, ніж рівняння балансу потужності: крім того досить важливим показником для

оцінки технічного стану ГСУ є витрата енергії за цикл. Нижче наведені графіки залежності витрати енергії в залежності від середньої швидкості руху (рис. 6).



1 – при роботі на бензині, 2 – в режимі електромобіля

Рис. 6. Зміна енергії, отриманої автомобілем в залежності від середньої швидкості руху

З рисунку видно, що при середній швидкості 50 км/год енерговитрати бензинового електромобіля будуть при низькій середній швидкості до 40 км/год. При середній швидкості понад 60 км/год ефективно використовувати автомобіль в режимі роботи двигуна внутрішнього згоряння. Це викликано тим, що ККД електродвигуна знижується при навантаженні близькою до максимальної, а ККД бензинового двигуна підвищується і буде максимальним при середніх навантаженнях.

Розробка досить точних моделей, що відображають енергетичні втрати автомобілів в різних умовах експлуатації є можливістю наукових завдань. Експериментальні дослідження зміни енергетичних втрат при статичних умовах експлуатації скрутні, тому необхідно створювати досконалі розрахункові методи. Вони можуть бути широко використані при проектуванні гібридних автомобілів і створенні нормативної бази для автотранспортного підприємства [23].

Автомобіль – це силова машина. А, як відомо, продуктивність будь-якої силової машини визначається потужністю, тобто кількістю (об'ємом) механічної роботи, виконаної в одиницю часу. Не можна погодитися і з тим, що ККД автомобіля слід відносити до додаткових показників. Адже саме ККД є основним критерієм досконалості автомобіля з енергетичної точки зору. Потужність і ККД - це найважливіші показники. Що стосується роботи – це похідний, причому інтегрального (підсумовує) характеру, показник. Але потужність і робота знаходяться в прямій залежності: чим більше потужність, тим за менший відрізок часу автомобіль може виконати заданий обсяг роботи.

На підставі аналізу енергетичних втрат автомобіля з ГСУ слід, що при низьких середніх швидкостях руху 5 ... 20 км/год дуже ефективно використовувати режим руху на електротязі, а при середніх швидкостях вище 60 км/год – рух з використанням бортової електростанції. Очевидно, що електромобілі найбільш ефективно використовують енергію на виконання транспортної роботи на відміну від інших видів транспортних машин [24].

4. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Ми вже більше століття їздимо в трамваях, тролейбусах, електропоїздах, метро і в приміських електричках, а поля генеруються холодильниками, пральними машинами і іншими побутовими приладами (рис. 7). І здається, що людина давно звикла до них. Однак не все так просто. Якщо від промислових установок йде постійний фон, то низькочастотні поля в електрокарах і гібридах змінюються в тисячі разів за одиницю часу в залежності від прискорення і рекуперативного гальмування. в цьому і полягає головна небезпека електротранспорту .



Рис. 7. Сучасні електро та гібридні автомобілі

Організм спочатку звикає до одного рівня ЕМВ, потім намагається підлаштуватися до іншого. А потім зовсім дезорієнтується. І навіть невелике по потужності і частоті поле здатне вибивати людину з колії.

23 травня 2017 року вступив в дію наказ МОЗ України № 266 від 13.03.2017 року (zareestrovano в Міністерстві юстиції України 16 травня 2017 року за №625/30493) „Про затвердження Змін до Державних санітарних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань” ДСанПіП 239-96 зі змінами. Вітчизняний СанПіН обмежує доступ до джерел ЕМВ для дітей та вагітних жінок. Вважається, що електромагнітні поля викликають патології розвитку ембріона.

Захиститися таблетками від низькочастотного випромінювання неможливо, а ось підвищити стійкість організму - цілком. Наприклад, антиоксиданти частково допомагають відновлювати хімічні реакції. Навіть лимонний сік, випитий днем, повертає сили. Можливо, незабаром з'являться медикаментозні препарати проти шкідливих наслідків ЕМІ [27].

Як впливає низкочастотне нізкофотонне випромінювання на наш організм? Воно іонізує молекули клітин, а значить, спотворює протягом хімічні реакції в організмі, ускладнює харчування тканин киснем і порушує регуляторні здібності. Воно впливає на кров і лімфу. Людина відчуває загальну слабкість, сонливість, втрату сил. Знижується концентрація уваги і здатність адекватно реагувати на те, що відбувається. Натомість, дратівливість і агресивність зростає. А це часто обертається незрозумілими діями на дорозі і безглуздими аваріями.

"У довгостроковій перспективі різкі зміни техногенного ЕМВ провокують початок статевих дисфункцій і незворотних змін в системі кровообігу, - стверджує Володимир Цетлін. - Все це ми бачимо у космонавтів, що працюють при високому випромінюванні. Рівень захворювань на рак у них в десять разів вище, ніж у простих людей ".

Звичайно, з шкідливим впливом електромагнітного випромінювання (ЕМВ) давно стикаються машиністи електропоїздів, працівники підстанцій, а також пілоти авіалайнерів. Але вони отримують непогану зарплату з надбавками за шкідливість, користуються медичним забезпеченням, соціальними пільгами і рано виходять на пенсію. І до того часу, на жаль, нерідко вже перетворюються в руїни. А що отримають власники електрокарів і гібридів, яким запропоновано брати приклад з представників небезпечних професій?

Наприклад, на гібридах Plug-in є функція примусової підзарядки батареї, коли електромотор починає виконувати функції генератора. Водієві радять в ім'я екології накачувати енергію в акумулятор на трасі, щоб на кінцевому етапі шляху на п'ять хвилин відключити ДВС і покататися в тихому режимі де-небудь під вікнами сусідів. Тобто людині запропоновано годинами піддаватися опроміненню низькочастотним електромагнітним полем заради п'ятихвилинки "зеленого" драйву [28].

. Якщо вдасться скоригувати масштаби впровадження електрокарів, то проблема ЕМВ повністю не вирішиться. Штатна електроніка, навігаційні

комплекси, Глобальна Навігаційна Супутникова Система (ГЛОНАСС), зв'язок і нові системи автоматизованого управління все одно будуть давати випромінювання".

"Ми стоїмо на порозі нової електромагнітної реальності, для якої людський організм ще не виробив еволюційних засобів захисту. " Зелений "транспорт підкидає серйозні проблеми з екологією. І якщо наївні міркування про нешкідливість електрокарів матимуть силу, то красива казка про "зелений транспор" перетвориться в страшну антиутопію. Чистим повинно бути не тільки повітря, а й електромагнітний фон [29].

Мережа кабелів, по яких йде струм в електромобілі, створює електромагнітні поля. Лікарі бачать в них потенційну загрозу для здоров'я, зокрема діти ризикують захворіти на лейкемію. Батареї і силові лінії електромобілів, а також так звані гібридні машини часто розміщуються поруч з водієм і пасажирами. Таким чином, їх вплив на людей неминуче, причому на протязі тривалого періоду. Деякі власники цих автомобілів заміряли за допомогою магнітометрів силу магнітного поля в своїх машинах і були дуже стривожені результатами. Медичні організації в Західній Європі і США визнають небезпеку, яка криється в сильних електромагнітних полях, передбачається, що вони викликають ракові захворювання. Однак до сих пір не прийняті стандарти максимально допустимих рівнів електромагнітного випромінювання в салонах автомобілів з урахуванням багатогодинного впливу таких полів на людину.

Представники компаній «Хонда» і «Тойота» запевняють, що гібридні моделі абсолютно безпечні. Однак The New-York Times пише, посилаючись на думку експертів, про те, що не слід ігнорувати можливий додатковий ризик для їх власників. Ще в 2002 р, коли тільки починалося широке впровадження гібридних автомобілів, один зі шведських журналів провів експертизу двох моделей з бензиновими двигунами і виявив в них високий рівень електромагнітного випромінювання, виробленого електронними мережами.

Електромагнітні поля низької частоти володіють наступними аспектами біологічної дії. Електромагнітні низькочастотні поля (<105 Гц) виступають провідником зі всіма витікаючими звідси властивостями. Основними джерелами вільних зарядів є іони. Під дією зовнішнього електромагнітного поля (ЕМП) в тканинах організму людини утворюється струм провідності. При цьому під дією хвиль низької частоти виявляється весь організм, в результаті того, що довжина низькочастотних ЕМ хвиль перевершує у багато разів розміри тіла людини. Сприйняття ЕМ дії тканинами неоднаково, так як вони різні за електричними властивостями [30].

Сама чутлива - нервова система людини. Тому, діючи зовнішнім електромагнітним полем напруженістю 10-1В/ м з частотою 10 Гц в тканинах головного мозку виникає поле в 105 разів слабкіше, ніж зовнішнє. Крізь плазмолему нейронів проходить близько однієї тисячної частки струму провідності, який індукуюється зовнішнім полем. Струм провідності протікає в основному по міжклітинній рідині, що володіє опором набагато меншим, ніж опір клітинних мембран. Тому рівень збудження тканин залежить і від сили струму, і від частоти електромагнітного поля.

Дія електромагнітних полів на живий організм характеризується також невеликим термічним ефектом. Збільшення температури відбувається, якщо поглинається потужність електромагнітної енергії більше, ніж потужність розсіювання теплової енергії організмом (теповіддачі). (Тепло виробляється постійно в результаті обміну речовин. Теплова енергія від тканин відводиться кровообігом, а віддача тепла з поверхні тіла відбувається за допомогою конвекції, випромінювання, випаровування вологи і теплопровідності). Тому сильно помітного збільшення температури тіла від дії низьких частот не спостерігається. Але крім випадків, коли відбувається прямий контакт з джерелом струму великої напруги.

Реакція живого організму на дії ЕМ низькочастотних полів не вивчена до кінця, наслідки неоднозначні і непередбачувані. Але знайдений зв'язок

між електромагнітним випромінюванням низьких частот і розвитком пухлин, лейкозу у дітей і дорослих. Діапазон наднизьких частот відбивається на зростанні функціональної активності гіпофізарно-надниркової, а іноді і гіпофізарно-тиреоїдної системи. Поле наднизької частотності, а також детектування надвисокочастотне і високочастотне з наднизькочастотною модуляцією поля, які вивільняють вільні активні радикали, діючи при цьому на РНК і ДНК, можуть призводити до віддалених вкрай негативних наслідків, навіть до виродження генотипу [31].

Електромобіль спеціально розрахований на міську експлуатацію. Незважаючи на те, що він взагалі не забруднює навколишнє середовище, ситуація з ЕМП джерелами в електромобілі є значно складнішою, ніж в автомобілі, оснащеному двигуном внутрішнього згоряння. У електромобілі ЕМП з високою щільністю енергії мають шкідливий вплив безпосередньо на організм людини.

Vedholm і Hamerius [10] провели вимірювання магнітного поля (5-2000 Гц) в нерухомому гібридному електромобілі з включеним двигуном і кондиціонером. Виміри проводилися в 7 автомобілях в районі всіх чотирьох сидінь на рівні щиколоток, колін, стегон, грудей і голови. Так як автомобілі були нерухомі, поля, генеровані обертанням коліс, були відсутні. Магнітне поле, в якому перебуває водій і пасажир, було отримано осередненим і представлено в таблицю 1.

У гібридах, в яких батарея була розміщена спереду (Авто 1-5), при відсутності руху наспостерігалися маленькі поля. Сильніші поля спостерігалися в автомобілях, в яких батарея була розміщена ззаду (Авто 6 і 7). У цих автомобілях батарея розташована під багажником або під заднім сидінням, і струм тече через весь автомобіль з передньої частини, від генератора до батареї. Такий великий струмовий контур генерує значні МП. Максимальне поле 14 мкТл було відзначено у заднього правого сидіння (як правило, дитячого) на рівні ніг.

Таблиця 1. Середнє магнітне поле (мкТл) в діапазоні частот (5-2000 Гц) в нерухомому гібридному електромобілі з включеним двигуном і кондиціонером.

Точка вимірювання	Авто 1	Авто 2	Авто 3	Авто 4	Авто 5	Авто 6	Авто 7
Ліве переднє сидіння	0,12	0,11	0,15	0,22	0,14	2,6	3,2
Праве переднє сидіння	0,13	0,15	0,33	0,37	0,11	1,1	0,8
Ліве заднє сидіння	0,06	0,04	0,03	0,03	0,06	2,4	4,0
Праве заднє сидіння	0,11	0,10	0,04	0,04	0,03	1,3	1,5

Технічний університет м. Біля за дорученням Швейцарського федерального департаменту здоров'я провів вимірювання МП в двох гібридних автомобілях [32]. Вимірювання були зроблені в русі по місту та в лабораторії, де імітувалися умови руху. Датчики МП поміщалися на переднє пасажирське сидіння, на підлогу у сидіння водія, а також на місце дитячого крісла (заднє праве сидіння). Колеса були зроблені з немагнітних матеріалів, щоб виключити вплив МП, що виникає під час обертання феромагнітних мас коліс, на результати вимірювань. Під час цього дослідження встановлено, що інтенсивність МП постійно змінювалася під час руху автомобіля і сильно залежала від способу прискорення і гальмування. Найбільша інтенсивність спостерігається під час прискорення і гальмування.

Під час руху МП на дитячому сидінні було в межах 0,1-3 мкТл. МП в інших вимірних точках мало приблизно такий же рівень. Було отримано, що в гібридних автомобілях генерується суміш МП в частотному діапазоні 5-500 Гц. Треба зауважити, що в даному дослідженні вимірювальні прилади не фіксували МП нижче 5 Гц.

В роботі австралійських дослідників [33] наведені результати вимірювань МП в різних точках гібридного автомобіля. Було знайдено, що

інтенсивність поля знаходиться в межах 0-35 МГС (0-3,5 мкТл). Максимальні поля вище 10 МГС спостерігалися на частоті 12 Гц. На рис. 8 показано МП, вимірюваний в задній частині гібридного автомобіля під час руху в різному режимі (прискорення, гальмування).

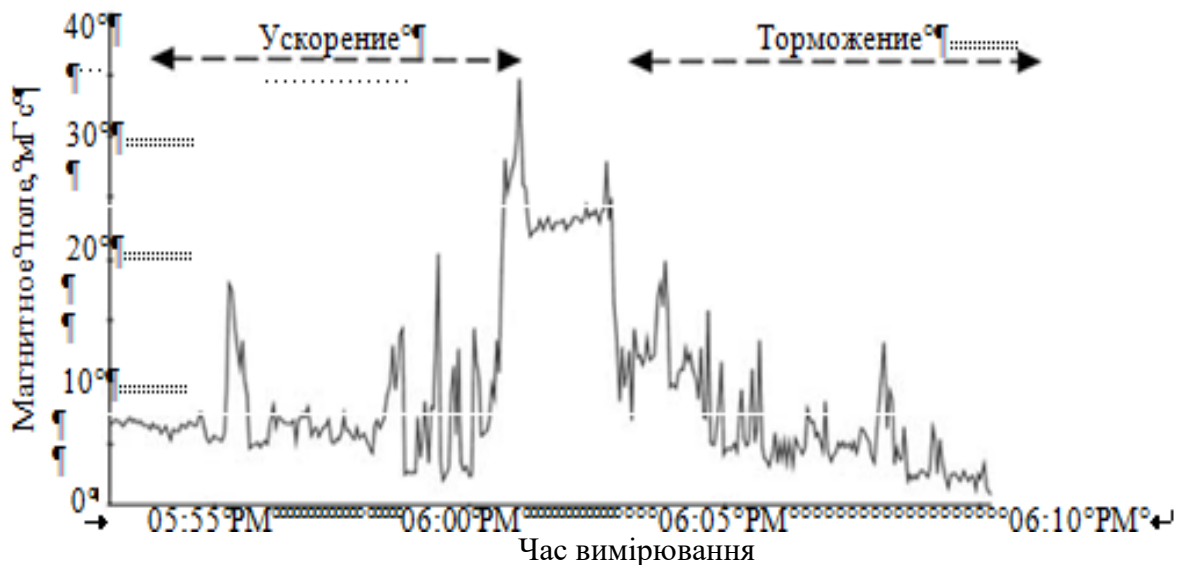


Рис.8. Магнітні поля на лівому задньому сидінні гібридного автомобіля

Група дослідників з США досліджувала МП в різних електромобілях виробництва США, а також на заправній станції під час зарядки авто [34]. Ці автомобілі використовували двигуни як постійного, так і змінного струму. Вимірювання показали, як і в попередніх випадках, що найбільші поля генерувалися під час максимального прискорення і рекуперативного гальмування.

Найбільш сильне поле було виявлено на місцях водіїв. Під час зарядки електромобіля самі великі поля, рівні 64,37 МГС (6437 мкТл), фіксувалися на відстані 50 см від панелі автоматичного переривника струму. Результати вимірювань встановили, що в електромобілях генеруються низькочастотні МП в діапазоні частот 60-420 Гц. Автори цього дослідження роблять висновок, що такі МП можуть загрожувати здоров'ю водіям та пасажиром, і тому їх слід екранувати.

Досить детальне дослідження МП в гібридному автомобілі Крайслер, орієнтоване на екранування і зменшення цих полів, було проведено в

спільному проєкті армійської групи Army TACOM і Крайслер К [12]. Поля вимірювалися індукційним магнітометром в широкому діапазоні частот (0-50 кГц). У досліджуваному автомобілі батарея перебувала над задніми колесами. При силі струму в 200 А максимальне поле ~ 1200 МГС (120 мкТл) спостерігалось в районі заднього сидіння, а просторові градієнти доходили до 1000 МГС / м.

Порівняння вимірювань магнітного поля, проведеного в різних видах транспорту, показало, що ці поля кардинально відрізняються від синусоїдальних полів, які генерують лінії передач (50 Гц або 60 Гц). Магнітні поля в електричному транспорті, включаючи автомобіль, є мультичастотними полями, які швидко змінюються в часі і просторі автомобіля. Ці риси магнітних поля є наслідком підсумовування різноманітних джерел магнітного поля на борту транспортного засобу і мінливих режимів руху (прискорення, гальмування і т. д.). Однак велика частина магнітної енергії концентрується в найбільш низьких частотних діапазонах (квазістатичному і ультра низькому, 0,001-10 Гц) [35].

Світові виробники електричного автомобілебудування зіткнулися з серйозною проблемою забезпечення електромагнітної безпеки користувачів електричного автомобільного транспорту. Існує стурбованість населення і засобів масової інформації з приводу можливих ризиків для здоров'я і безпеки руху через вплив електромагнітних полів (ЕМП), які будуть генеруватися в електричному автотранспорті сильними струмами, поточними в електропроводах і кабелях. Ці прагнення підкріплюється численними роботами, що свідчать про те, що ЕМП промислової частоти (50-60 Гц) можуть становити загрозу здоров'ю, зокрема можуть провокувати канцерогенні захворювання, пухлини мозку, різні неврологічні порушення, депресії [36]. Крім того, магнітні поля (МП) наднизької частоти уповільнюють реакцію людини, що може представляти серйозну загрозу безпеці руху, якщо такі явища спостерігаються у водіїв. При цьому слід врахувати дві «обтяжуючі обставини»: по-перше, водії і пасажери

електромобіля будуть перебувати в безпосередній близькості до джерел МП, і, по-друге, вони будуть піддаватися експозиції полів протягом тривалого часу.

Ми користуємося феном, електробритвою або мікрохвильовою піччю протягом декількох хвилин або десятків хвилин, а в автомобілі люди часто проводять багато годин. Обидва перерахованих вище чинника збільшують ризик негативного впливу магнітних полів.

У той час як у всіх типах автомобілів присутні зовнішні ЕМП, включаючи МП Землі, а також ЕМП від різних бортових електронних пристроїв, електричний і гібридний автомобілі, завдяки своїм конструктивним особливостям, генерують істотні внутрішні ЕМП в широкому діапазоні частот. Електрообладнання в електромобілях є джерелом змінного ЕМП, що має сильну тимчасову і просторову неоднорідність в діапазоні частот від 0 до сотень мегагерц [37].

З екологічної точки зору найбільш важливою є магнітна складова ЕМП, так як доведено, що саме вона може призводити до негативних наслідків для здоров'я. МП також можуть становити ризик для електромагнітної сумісності різних електротехнічних засобів і електронних пристроїв електромобіля.

Таким чином, вимір і оцінка МП, а також визначення їх топології в електричному автомобілі є актуальним завданням. До сих пір робіт про детальні магнітні виміри в гібридних автомобілях дуже мало, а опубліковані статті з тестування МП в повністю електричних автомобілях практично відсутні взагалі [38]. Однак підсумовування відомих до теперішнього часу відомостей та порівняння з даними, отриманими для інших видів електричного транспорту дозволило виявити характерні загальні для таких полів. Основними чертами являється те, що на відміну від синусоїдальних полів від ліній передач (на частоті 50 або 60 Гц), ЕМП в електричному автомобілі є мультичастотного полями, тобто вони є суперпозицією полів, що генеруються безліччю джерел на борту автомобіля. Крім того, виявлено,

що МП в електромобілі є іррегулярні, що швидко змінюються в часі і вкрай неоднорідними в просторі салону.

Перераховані характерні риси МП в електромобілі ускладнюють докладні і точні вимірювання цих полів в салоні автомобіля, що рухається. Для коректних вимірювань полів і їх градієнтів в салоні і в безпосередній близькості від електромобіля необхідно враховувати: велику просторову неоднорідність поля в салоні автомобіля; аддитивну індустріальну перешкоду, а також природне постійне і змінне геомагнітне поле в тому ж діапазоні частот [39].

Для моніторингу всередині салону автомобіля просторово сильно неоднорідних МП і побудови 3D-топології необхідно використання численних рівномірно розподілених датчиків МП. У даній роботі для вирішення цього завдання, пропонується метод тестування МП в електромобілі, який базується на диференціальних методах вимірювання.

За літературними даними відсоток електромагнітного забруднення міського середовища від автотранспорту становить 18-32 %. Проведені дослідження показників електромагнітного поля по міській автомобільній дороги в залежності від інтенсивності дорожнього руху. Результати вимірювань представлені в таблицях 2 та 3.

Таблиця 2
Показники електромагнітного поля

№ п/п	Інтенсивність дорожнього руху	Характеристики електромагнітного поля в діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц		Характеристики електромагнітного поля в діапазоні частот 2 кГц - 400 кГц		Характеристики електромагнітного поля при частоті 50 Гц	
		Е, В/м	В, мкТл	Е, В/м	В, нТл	Е, В/м	Н А/м
1	0 авто/хв.	2	0,01	0,01	0	0,7	1,4
2	35 авто/хв.	6	0,1	0,2	1	2	2,1
3	58 авто/хв.	15	0,2	0,2	1	6	2,97

Таблиця 3
Частотні діапазони електрообладнання автомобілів

№ п/п	Джерело ЕМП	Частотний діапазон
1	Система запалювання	0,1 - 500 МГц
2	Звуковий сигнал	0,1 - 500 МГц
3	Показчик повороту	0,3 - 30 МГц
4	Електродвигуни (склоочисника, фароомивача, вентилятора)	0,3 - 250 МГц
5	Система електрообладнання (ланцюга з потужними навантаженнями, генераторна установка)	0 - 100 МГц
6	Напруга бортової мережі	1 – 1000 Гц

Також практично відсутні дані про внутрішні і зовнішні електромагнітні поля гібридних автомобілів. Сучасний гібридний автомобіль являє собою транспортний засіб, що приводиться в рух системою «двигун внутрішнього згоряння електродвигун». Ознакою, що дозволяє розділити гібридні транспортні засоби за категоріями, є тип взаємодії двигунів. Сьогодні розрізняють послідовне (рисунок 9), паралельне (рисунок 10) і послідовно-паралельне підключення (рисунок 11).

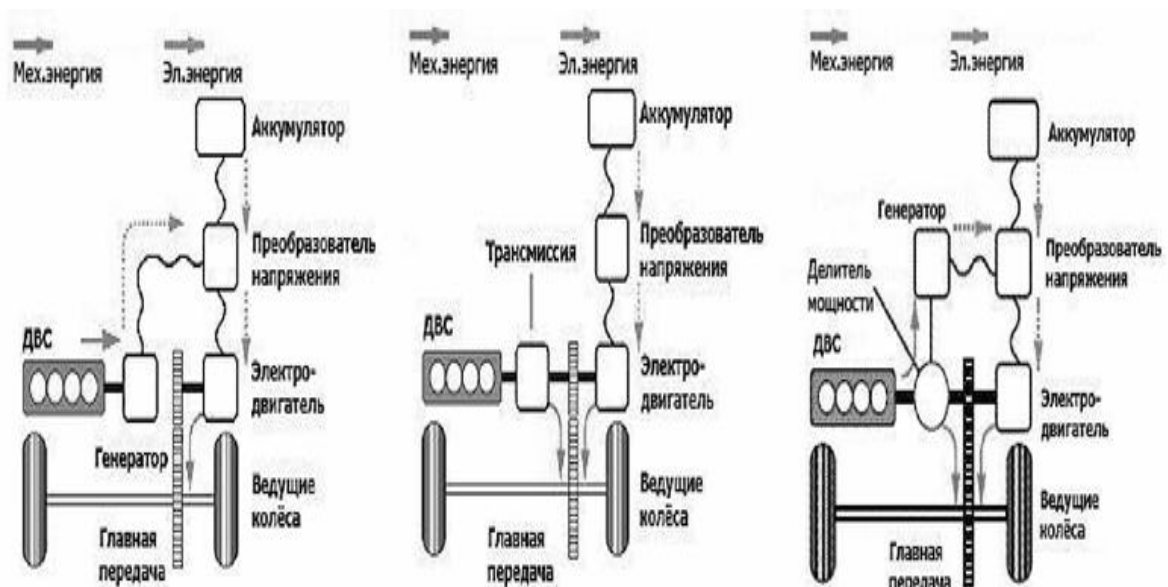


Рис. 9 Послідовна схема Рис.10 Паралельна схема Рис.11. Послідовно-паралельна схема

Основним джерелом електромагнітного поля в розглянутих схемах 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, а й виконує функцію генератора. На початку руху і при русі на малих

швидкостях електродвигун працює як мотор, а в процесі гальмування виступає в ролі генератора. Можна припустити, що з появою на міських автомобільних дорогах значної кількості гібридних автомобілів відбудеться підвищення показників електромагнітного поля на частоті 50 Гц, а також на частотах, які обумовлені роботою перетворювача напруги. Була досліджена робота перетворювача напруження і отримані осцилограми (рисунок 12).

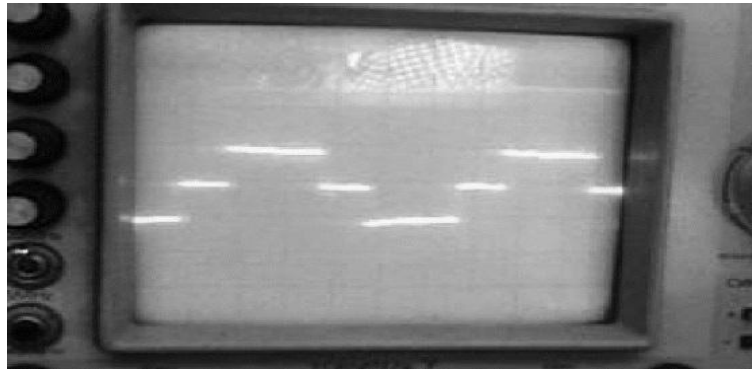


Рис.12. Осцилограма роботи інвертора

Дані осцилограми показують ступінчасту залежність напруги від часу, що є причиною появи електромагнітних полів різних частот (гармонік) за деякими джерелами в діапазоні від 5 Гц до 1 ГГц. Тому необхідно подальше дослідження з виявлення спектральної характеристики електромагнітного поля інвертора [40]. Для зручності дослідження джерел електромагнітного випромінювання у вільному просторі прийнято ділити його на три зони: ближню, перехідну і далеку зони. Критерієм, за яким відбувається розподіл, є відстань r між джерелом поля і точкою виміру: для ближньої зони для проміжної зони $r \cong \lambda / 2\pi$; для далекої зони $r \geq \lambda / 2\pi$;

У найближчій зоні (на прикладі елементарного диполя) переважають E_0 і E_r - складові напруженості електричного поля, які змінюються пропорційно I/r^3 та $H\varphi$ - складова напруженості магнітного поля, пропорційна I/r^2 . Відповідно до цього ближня зона описується наступними математичними виразами:

$$E_r = \frac{l \cdot I^{cm}}{2\pi \cdot \varpi \cdot E \cdot E_0 \cdot r^3} \cdot \sin \varpi l \cdot \cos \theta, \quad (13)$$

$$E_{\theta} = \frac{l \cdot I^{cm}}{4\pi \cdot \varpi \cdot E \cdot E_0 \cdot r^3} \cdot \sin \varpi l \cdot \sin \theta, \quad (14)$$

$$H_{\varphi} = \frac{l \cdot I^{cm}}{4\pi \cdot r^2} \cdot \sin \theta l \cdot \cos \varpi l. \quad (15)$$

У найближчій зоні поле таке, що його реактивна щільність енергії, переважає перед активної. Для визначення імпедансу в цій зоні використовується наступна формула:

$$Z = \frac{E_r}{H_{\varphi}} = Z_0 \cdot \frac{\lambda}{2\pi \cdot r}, \text{ де } Z_0 = 377 \text{ Ом}. \quad (16)$$

У далекій зоні електричне та магнітне поле змінюються в однаковій фазі, активна щільність енергії переважає над реактивної і характеризується вектором Пойнтинга (Умова-Пойнтинга) [3].

Імпеданс визначається за формулою (4):

$$Z = \frac{E_r}{H_{\varphi}} = 377 \text{ Ом} \quad (17)$$

На рисунку 13 показана залежність імпедансу від відстані до джерела.



Рис. 13. Залежність імпедансу від відстані

У проміжній області поле описується формулою (17). Цю область іноді називають областю випромінюваного ближнього поля або зоною дифракції Френеля.

При наявності будь-яких обмежень пристроїв, наприклад, при поширенні хвиль в замкнутому просторі, в сумарній хвилі може бути присутнім поздовжня складова. Тоді вектор активної щільності потоку енергії (в Ектор Умова - Пойнтінга) і вектор реактивної щільності потоку енергії мають певні значення (не рівні нулю) і хвиля є поляризованою [41].

При дослідженні зовнішнього і внутрішнього електромагнітного поля гібридного автомобіля необхідно враховувати особливості поширення електромагнітного поля як у вільному просторі, так і замкнутому просторі (тонка структура поля). Автомобіль, будучи засобом пересування людини, все більше і більше насичується електронними та електричними пристроями, які позначаються на здоров'ї людини і причиняють негативний вплив. В автомобілі електромагнітні поля (ЕМП) створюються електрообладнанням. Встановлено, що рівні індукції магнітного поля (МП) істотно залежать від режиму експлуатації автомобіля. Особливо сильні варіації магнітних полів спостерігаються при розгоні і гальмуванні автомобіля.

Вплив на здоров'я людини вкрай низької частоти (КНЧ, діапазон частот від 0 до 100 кГц впливу магнітного поля (МП) в електро та гібридних транспортних засобах викликало стурбованість громадськості.

Вплив МЧ неминуче в компактній металевій кабіні, а розподіл внутрішнього поля дуже складно. Опорні рівні щільності магнітного потоку зазвичай зменшуються за частотою (наприклад, від 0,625 мТл до 0,2 мТл для 8 Гц до 25 Гц, 0,2 мТл для 25 Гц до 400 Гц, 0,2 мТл до 0,0267 мТл для 400 Гц до 3000 Гц). Ці рекомендації були засновані головним чином на короткострокові ефекти. Зокрема, Ahlbom et al і Greenland et al. [42] вказали, що щорічно вплив 50 Гц і 60 Гц МФ, що перевищують від 0,3 мкТл до 0,4 мкТл, може привести до збільшення ризику лейкемії у дітей,

хоча задовільна причинно-наслідковий зв'язок ще не було надійно та продемонстровано. На підставі результатів вимірювань дослідники оцінили вплив на людину електромагнітних полів з урахуванням морфології і топології автомобіля.

Матеріали, що використовується в електромобілях, значно впливають на розподіл магнітного поля в кабіні. Повідомляється, що деякі виробники використовують кришки, що містять спеціальні металеві елементи (наприклад, берилієва мідь), щоб зменшити вплив MF в салоні. Проте, регулярне технічне обслуговування або ремонт можуть зажадати установки або демонтажу компонентів в кабіні, що може змінити екранування і, як наслідок, вплив ЕМП НЧ.

Старіння через частого водіння може також змінити екранування (наприклад, використання електромобілів заохочується в популярних програмах обміну автомобілями, і багато електромобілів можуть проїжджати від 30 000 км до 50 000 км в рік). Існує серйозна заклопотаність з приводу впливу МП СНЧ, але питання про зміну МП при тривалому використанні ще не досліджений [43].

Значення щільності магнітного поля (В) в різних положеннях автомобіля, в умовах прискорення і руху з постійною швидкістю 40 км/год показали, що значення ELF MF в електромобілях істотно не зміняться через тривале водіння або регулярного технічного обслуговування. Проте, капітальний ремонт може змінити як спектр, так і амплітуду результатів МП НЧ.

Реакція організму людини залежить як від різних типів ЕМІ (безперервних, переривчастих, імпульсних, загальних і місцевих, комбінованих - від декількох джерел і в поєднанні з іншими несприятливими впливами), так і від потужності випромінювання, частоти і спектра випромінюваного сигналу, часу опромінення, виду модуляції, поляризації, електричної та магнітної складових і т. д.

Численні зарубіжні та вітчизняні дослідження показали, що високочастотні і низькочастотні випромінювання ЕМП впливають на

організм людини по-різному. При високочастотному техногенному ЕМІ відбувається тепловий вплив на організм, тобто при поглинанні тканинами ЕМІ відбувається перетворення електромагнітної енергії в теплову. Помітити нагрів тканин можливо лише при високих напруженностях ЕМП. Низькочастотні ЕМІ є більш небезпечними, оскільки діють, як правило, протягом тривалого часу. Вони характеризуються нетепловим або інформаційним впливом на організм при інтенсивності нижче порогової величини теплового ефекту, оскільки біологічний ефект формується за рахунок енергії самого організму, а зовнішній вплив дає лише поштовх для розвитку реакції, що виявляється у вигляді різних біохімічних, обмінних та імунних порушень.

Експериментальні дослідження свідчать про високу чутливість людини до слабких електромагнітних впливів будь-якого діапазону частот, яке можна порівняти за напруженістю з природними полями. Зміни в електроенцефалограмі людини вдалося виявити при щільності потоку потужності ЕМП, що дорівнює $0,000006 \text{ мкВт/см}^2$ [44]. Зміни в організмі людини в результаті впливу ЕМІ різної потужності приведені на рисунку 14, за даними М.М. Грачова в авторській інтерпретації.

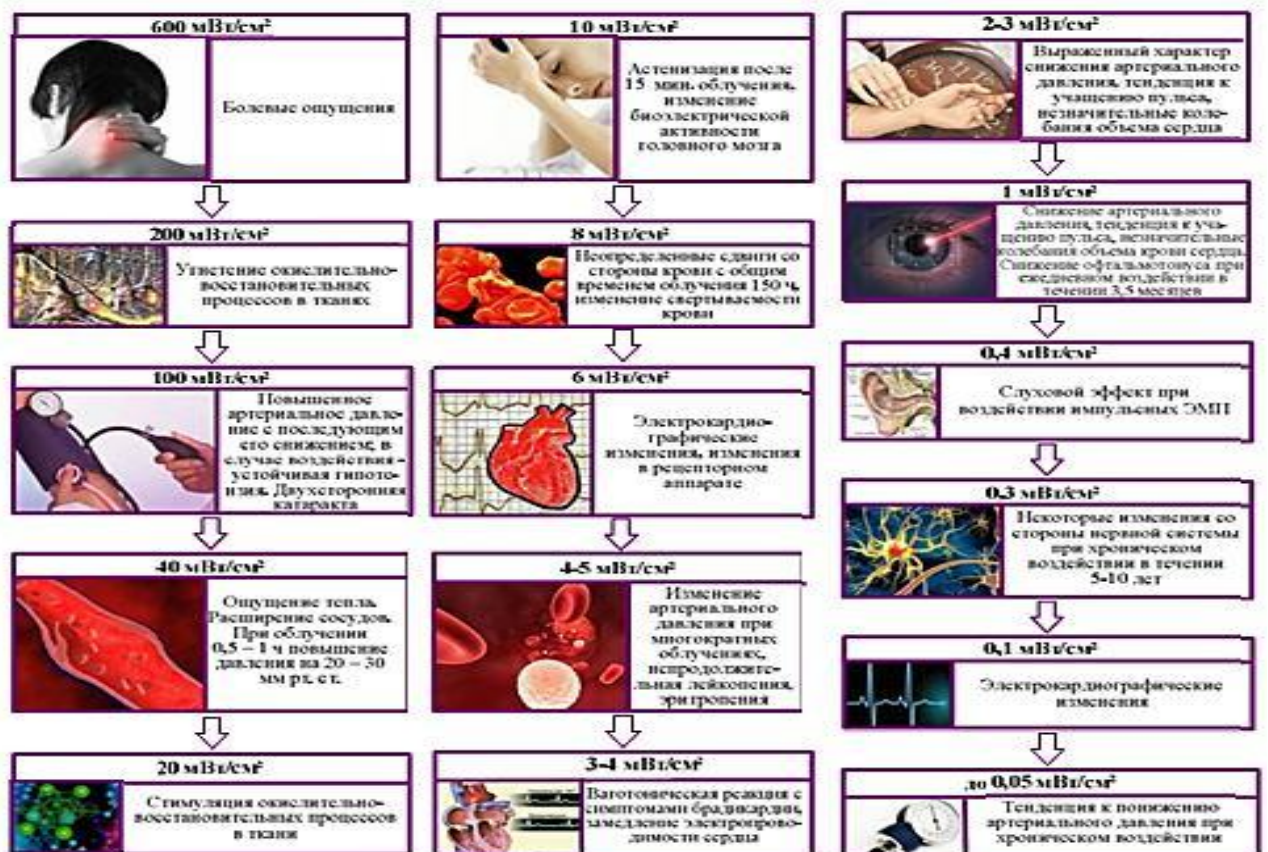


Рис. 14. Можливі зміни в організмі людини під впливом електромагнітних випромінювань різної інтенсивності

Первинними, добре вираженими і поширеними ознаками змін в організмі є дратівливість, погіршення пам'яті, швидка стомлюваність, метушливість, головні болі, мала ефективність сну, гальмування умовних рефлексів. Існує думка, що зміни, викликані ЕМІ навіть малих інтенсивностей, здатні накопичуватися в організмі в умовах їх тривалого багаторічного впливу [45].

5. ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ НА КЛІТИНУ ЛЮДИНИ

Існує велика кількість літератури про реакцію тканин на електромагнітні поля, в першу чергу в надзвичайно низькочастотному (СНЧ) і мікрохвильовому діапазонах. В цілому, описані ефекти радіочастотного (РЧ) випромінювання на тканини і системи органів приписуються тепловим взаємодій, хоча існування нетеплових ефектів при низької інтенсивності поля все ще є предметом активних досліджень. У цьому розділі підсумовуються повідомлення про вплив радіочастотного випромінювання на основні фізіологічні системи і наводяться оцінки порогових значень питомої швидкості поглинання (SAR), необхідних для виникнення таких ефектів. Також підсумовані реакції органів і тканин на поля СНЧ і спроби охарактеризувати порогові значення полів. Оцінюється актуальність цих результатів для можливого зв'язку впливу на здоров'я з впливом радіочастотних полів від антен GWEN.

Вплив випромінювання на нервові тканини було предметом активних досліджень, оскільки зміни в поведінці тварин і електричні властивості нервів вперше були зареєстровані в Радянському Союзі в 1950-х і 1960-х роках [1]. Повідомляється, що радіочастотне випромінювання впливає на ізольовані нервові препарати, центральну нервову систему, хімію і гістологію мозку, а також гематоенцефалічний бар'єр [46].

У дослідженнях з препаратами нервів *in vitro* спостерігалися зміни в швидкості збудження нейронів аплізії і в рефрактерном періоді ізольованих сідничних нервів жаби, підданих впливу мікрохвиль 2,45 ГГц при значеннях SAR, що перевищують 5 Вт / кг. 2, 3, 4 Ці ефекти, швидше за все, були пов'язані з нагріванням нервових препаратів, оскільки було виявлено, що набагато більш високі значення SAR не викликають змін електричних властивостей ізольованих нервів при регулюванні температури. 5, 6 Дослідження ізольованих препаратів серця надали докази брадикардії в результаті впливу радіочастотного випромінювання з нетепловою щільністю потужності, хоча деякі з описаних ефектів могли бути артефактами, викликаними струмами, наведеними в записуючих електродах, або відсутності фізіологічних умов в середовищі для купання. 8, 9, 10 Кілька груп дослідників повідомили, що нетеплові рівні радіочастотних полів можуть змінювати зв'язування Ca^{2+} з поверхнею нервових клітин в ізольованих півкулях мозку і клітинами нейробластоми, культивованими *in vitro* (огляд Всесвітньої організації охорони здоров'я 11 і в розділах 3 і 7 цього звіту) . Це явище, однак, спостерігається тільки тоді, коли РЧ-поле амплітудно-модульованих на дуже низьких частотах, максимальний ефект виникає при частоті модуляції 16 Гц. Про подібний ефект недавно повідомлялося в ізольованих серцях жаб. 12 Важливість змін зв'язування Ca^{2+} для функціональних властивостей нервових клітин не був встановлений, і немає чітких доказів того, що посиляє ефект низькоінтенсивних амплітудно-модульованих радіочастотних полів пов'язане зі значним ризиком для здоров'я.

Результати досліджень імпульсних і безперервних (CW) радіочастотних полів на електричну активність мозку показали, що перехідні ефекти можуть виникати при значеннях SAR, що перевищують 1 Вт / кг. [47]. Були представлені докази того, що холинергіческая активність тканини головного мозку залежить від радіочастотних полів при значеннях SAR всього лише 0,45 Вт / кг. 15 Повідомлялося, що вплив нетеплового

радіочастотного випромінювання впливає на електроенцефалограми (ЕЕГ) кішок, коли поле модулювати по амплітуді на частотах менше 25 Гц, що є діапазоном природних частот ЕЕГ. Швидкість обміну Ca^{2+} з тканини мозку кішки *in vivo*, як було відмічено, змінювалася у відповідь на аналогічні умови опромінення. Сопоставиміе ефекти на зв'язування Ca^{2+} не спостерігалися в мозковій тканині щурів, підданій радіочастотного випромінювання, хоча використовувані поля були імпульсними на частотах ЕЕГ, а не з амплітудною модуляцією. Як зазначалося вище, фізіологічне значення невеликих зрушень в зв'язуванні Ca^{2+} на поверхні нервових клітин неясно.

Повідомлялося про широкий спектр змін в хімії та структурі мозку після впливу на тварин високоінтенсивних радіочастотних полів. 19 Зміни включають зниження концентрації адреналіну, норадреналіну, дофаміну і 5-гідрокси; зміни аксональної структури; зменшення кількості клітин Пуркін'є; і структурні зміни в області гіпоталамуса. Ці ефекти зазвичай пов'язані з інтенсивністю радіочастотного випромінювання, що викликає значне показують, що такі ефекти виникають в результаті локального нагріву голови у відповідь на значення SAR, що перевищують 2 Вт / кг. Зміни швидкості мозкового кровотоку, а не прямі зміни проникності для молекул індикаторів, також можуть бути невірно інтерпретовані як зміни властивостей гематоенцефалічного бар'єру. локальне нагрівання мозку.

Були проведені численні дослідження для виявлення можливих ефектів радіочастотного випромінювання на цілісність гематоенцефалічного бар'єру. 20, 21 Хоча в кількох звітах передбачалося, що нетеплове радіочастотне випромінювання може впливати на проникність гематоенцефалічного бар'єру, більшість експериментальних результатів

Також широко вивчався вплив імпульсних і синусоїдальних полів СНЧ на електричну активність нервової системи. Загалом, тільки синусоїдальні електричні поля високої інтенсивності або швидко імпульсні магнітні поля індукують достатню щільність струму в тканини (близько 0,1-

1,0 А / м² або вище), щоб змінити збудливість нейронів і синаптичну передачу або викликати нервово -мишечную стимуляцію. Кілька більш низькі пороги спостерігалися для індукції візуальних фосфенов (обговорюваних в наступному розділі) і для впливу на електричну активність нейронів водія ритму аплізії, коли частота прикладеної поля відповідала швидкості збудження ендогенних нейронів. 24Еті ефекти, однак, спостерігалися тільки на частотах СНЧ, і не очікується, що вони виникнуть на більш високих частотах, пов'язаних з передавачами GWEN. Недавні дослідження за участю добровольців, які зазнали впливу електричних і магнітних полів частотою 60 Гц з інтенсивністю, порівнянної з інтенсивністю високовольтних ліній електропередачі, не показали стійкого впливу на ЕЕГ. 25 Спостерігалися незначні зміни в часі реакції і частотою серцевих скорочень, але коливання знаходилися в межах норми [48].

Розвиток катаракти в результаті впливу на очі високоінтенсивного радіочастотного випромінювання вивчається понад 30 років. На кроликах були проведені великі експерименти по визначенню залежності катарактогенезу від частоти та інтенсивності радіочастотних полів і від часу впливу. В цілому, найнижчі пороги індукції катаракти спостерігалися при впливі в ближньому полі на частоті 1-10 ГГц, і потрібно щільність потужності більше 100 мВт / см², що застосовується протягом як мінімум години. Більшість досліджень свідчать про те, що механізм пошкодження, що призводить до помутніння кришталика, є тепловим, а імпульсні і безперервні мікрохвильові поля, мабуть, мають схожі пороги для утворення катаракти. Многократные підпорогової впливу не призводять до катаракти, якщо час між впливами досить велике, щоб дозволити тканини повернутися до своєї нормальної температури. На частотах, де довжина хвилі радіочастотного поля не відповідає розмірам очі, катаракта не виникає навіть при надзвичайно високої щільності потужності, що наближається до летального рівня. Хоча важко екстраполювати результати лабораторних тварин на людей, очікується, що гранична щільність потужності, необхідна

для утворення катаракти, буде однаковою у кроликів і людей через структурної схожості і порівнянних розмірів очей у цих видів.

Результати недавніх досліджень на мавпах показали, що витік з судин може збільшуватися при відносно низькій щільності потужності імпульсного випромінювання 2,45 ГГц, коли око попередньо обробляють малеатом тимолола, що знижує внутрішньоочний тиск за рахунок зменшення утворення водянистої вологи. Щільність потужності всього 1 мВт / см², відповідна внутрішньоочного SAR 0,26 Вт / кг, як було відмічено, дає ефект. Ці результати можуть мати значення для радіочастотного ураження очей у людей, які отримують тимолол малеат від глаукоми. Однак гранична щільність потужності на частоті 2,45 ГГц все ще значно перевищує інтенсивність радіочастотних полів, створюваних антенами GWEN в областях, доступних для шірокої публіки [49].

Візуальне явище, пов'язане з впливом полів СНЧ, яке вивчалось майже сторіччя, - це індукція мерехтливого світла, відомого як фосфен. Було показано, що змінюються в часі магнітні поля з імпульсною або синусоїдальною формою хвилі і частотами нижче 100 Гц виробляють фосфен, коли швидкість зміни поля в часі перевищує 1,3 Тл / с. Частота, найбільш ймовірна для освіти магнітофосфенов з синусоїдальними полями, становить 20 Гц; гранична щільність потоку для прояву візуального ефекту 8 мТл.

Аналогічна частотна залежність спостерігалася для електрофосфенов, отриманих при контакті електродів зі чолом поруч з очима. Локус ефекту знаходиться в сітківці, і наявні дані свідчать про те, що індуковані струми в сітківці викликають зорові реакції, аналогічні тим, які виникають в результаті світлової стимуляції. Також повідомлялося про зміну візуально викликаного потенціалу (ЗВП) у відповідь на магнітні поля СНЧ з густиною потоку, які в 5-10 разів перевищують ті, які потрібні для виробництва фосфенов. Оскільки фосфен і зміни VEP спостерігаються тільки з полями нижче 100 Гц, такі явища не очікуються у відповідь на низькочастотні поля, пов'язані з антеною GWEN.

Багато досліджень на гризунах і мавпах показали, що вплив термогенних рівнів радіочастотного випромінювання викликає ендокринні зміни, найбільш стійким з яких є підвищення рівня кортикостерону в плазмі.

Значення SAR, що перевищують 3 Вт / кг, викликають підвищення рівня кортикостерону в плазмі у щурів, що залежить від секреції аденокортикотропного гормону гіпофізом. Зниження рівнів гормонів щитовидної залози також спостерігалось у відповідь на термогенні рівні радіочастотного випромінювання, і ця відповідь була пов'язаний з пригніченням секреції тиреотропіну гіпофізом.

Як правило, зміна концентрації гормону можна зупинити після припинення радіочастотного впливу. Ці результати показують, що радіочастотне нагрівання змінює складні взаємодії гіпоталамічної, гіпофізарної, надниркової та тироїдної систем, які важливі для підтримки гомеостазу. Примітно, що дворічне вплив на щурів нетермогенних імпульсних мікрохвиль 2,45 ГГц не привело до що виявляється ендокринних змін.

Дослідження можливих ендокринних ефектів електричних і магнітних полів СНЧ дали суперечливі результати. 22 Повідомлялося про збільшення, зниження і відсутності змін в плазмі стероїдних гормонів. Результати досліджень на собаках і пацюках показують, що граничне значення електричного поля 60 Гц, необхідне для зміни концентрації кортикостерону або тестостерону в крові, перевищує 10 кВ / м. 38 - 40 Результати експериментів з мавпами, подвергавшимися впливу електричного і магнітного полів частотою 60 Гц з інтенсивністю, типовою для тих, які знаходяться поблизу високовольтних ліній електропередачі, показали, що при хронічному впливі відбувається зниження концентрації нейромедіаторів. Однак інших спостережень за поведінковими або фізіологічними змінами у підданих впливу тварин не було

Найбільш широко вивчене вплив полів СНЧ на ендокринну систему є очевидне зниження нічного підвищення рівня мелатоніну в шишкоподібної

залозі. Повідомляється, що зміни в мелатонін шишкоподібної залози відбулися після 2-3 тижнів впливу електричних полів з інтенсивністю понад 1,7 кВ/м в повітрі. Ефект оборотний: нічний рівень мелатоніну в шишкоподібної залозі повертається до контрольних значень протягом 3 днів після припинення впливу. Подібний ефект на мелатонін шишкоподібної залози спостерігалось після впливу на гризунів статичного магнітного поля 0,05 мТл, яке безперервно включалося і вимикалося 5-хвилинними циклами протягом 1 години, починаючи з 3,5 годин після настання темряви.

Інтерес до цього явища був зосереджений навколо ефектів мелатоніну на проліферацію клітин і його можливих канцеростатичним ефектів. Основною проблемою при інтерпретації результатів досліджень є відсутність кількісної інформації про порогових полях, необхідних для зміни концентрації мелатоніну. Також неясно, чи впливають поля СНЧ безпосередньо на функції пінеалоцитів або повідомляється зміна вироблення мелатоніну в пінеальною залозі є вторинним по відношенню до впливу полів на нервову систему. Необхідні подальші дослідження для оцінки можливого впливу викликаних полем змін мелатоніну пінеальною залози на фізіологічну регуляцію і ризик ендокринно-залежних онкологічних захворювань. В даний час неможливо екстраполювати наявну інформацію, отриману за допомогою полів з частотою 60 Гц або переривчастих магнітних полів постійного струму, на можливий вплив полів з більш високими частотами.

Про вплив впливу РЧ-поля на клітинні компоненти імунної системи повідомлялося з тест-системами як *in vitro*, так і *in vivo*. І лімфобластний трансформації і зміни в чуйності на мітогени були зареєстровані, хоча ефекти, які спостерігаються в різних лабораторіях були дуже мінливі. З доступної інформації випливає, що граничне значення SAR для зміни відповіді лімфоцитів на мітогени перевищує 4 Вт / кг як для імпульсних, так і для безперервних мікрохвиль. Було виявлено, що термогенні рівні впливу знижують активність природних клітин-кілерів і активують макрофаги.

Зміни, які спостерігаються в компонентах імунної системи при щільності РЧ-потужності, які викликають нагрівання тканин, узгоджуються з очікуваними ефектами підвищеного викиду стероїдних гормонів в кровотік , 50]. В одному дослідженні, що включає 2-річне вплив на щурів нетеплового рівня імпульсних мікрохвиль 2,45 ГГц (SAR, 0,4 Вт / кг), не було виявлено значних незворотних змін в концентраціях лімфоцитів або їх реакції на стимуляція митогенов .

Були проведені численні дослідження для визначення впливу електричних і магнітних полів СНЧ на компоненти імунної системи. В цілому було виявлено, що синусоїдальні поля СНЧ не роблять значного впливу на імунну компетентність після впливу на лабораторних тваринах *in vivo*. Однак повідомлялося про зниження митогенних відповідей і зниженою токсичності для клітин-мішеней для лімфоцитів, які зазнали *in vitro* впливу імпульсних магнітних полів або радіочастотних полів з амплітудною модуляцією 60 Гц. Ці ефекти могли бути результатом щодо високої щільності струму, індукованого в клітинних суспензіях. У дослідженні за участю електричних і магнітних полів частотою 60 Гц з синусоїдальною формою хвилі та інтенсивністю, порівнянної з полями поблизу високовольтних ліній електропередач, не було виявлено ніяких ефектів на імунологічні функції периферичних лімфоцитів людини і собак, отриманих від донорів, які або були нормальні або були заражені специфічними антигенами [51].

Було проведено кілька досліджень для оцінки впливу як термогенних, так і нетермогенних рівнів радіочастотного випромінювання на хімічний склад крові і кількість клітин крові.

Більшість з них проводилося з використанням мікрохвиль з частотою 2,45 ГГц, і результати показують, що питома потужність, що дає середній SAR для всього тіла менше 2,5 Вт / кг, не викликає значних змін гематологічних показників. В одному дослідженні хронічного впливу на кроликів, піддавалися впливу мікрохвиль 2,45 ГГц 23 години в день

протягом 180 днів, спостерігалось невелике зниження кількості еозинофілів, концентрації сироваткового альбуміну та концентрації кальцію. 60 Жодна з інших 38 характеристик крові, вимірних в ході дослідження, не змінилася у відповідь на хронічне радіочастотне вплив.

При високих рівнях радіочастотного опромінення мишей, що приводить до підвищення ректальної температури на 2-4°C, спостерігалось зниження кількості лімфоцитів і збільшення кількості нейтрофілів. 61 Було висловлено припущення, що викид стероїдів надниркових залоз в кров в результаті теплового стресу міг викликати зміни в кількості клітин крові. Термогенний рівні імпульсних або безперервних мікрохвиль також можуть впливати на клітинний склад і проліферативну здатність клітин кісткового мозку. І брадикардія, і тахікардія спостерігалися у лабораторних тварин, які зазнали впливу термогенних рівнів радіочастотного випромінювання зі значеннями SAR, що перевищують 2,5 Вт / кг. В цілому вплив на серцеву динаміку було тимчасовим і відповідало ефектів, очікуваним від нагрівання тіла.

Відповідно до огляду декількох авторів порогові значення полів СНЧ для значних серцево-судинних і гематологічних змін високі. Наприклад, на серцево-судинні показники не впливало вплив полів 60 Гц і 100 кВ / м. Гостра дія на людину електричних полів СНЧ до 200 кВ / м і магнітних полів до 5 мТл також не показало будь-яких стійких гематологічних або серцево-судинних ефектів.

Було проведено дуже мало досліджень реакції органів і тканин на електромагнітні поля в низькочастотному або надвисокочастотному діапазонах, що використовуються передавачами GWEN, але з представленого тут аналізу можна зробити висновок, що вплив радіочастотного випромінювання малоімовірно при щільності потужності і поглинених енергіях, пов'язаних з полями GWEN. Можливе існування нетеплових ефектів, таких як повідомляється вплив низькоінтенсивних амплітудно-модульованих радіочастотних полів на Ca_2^+ зв'язування в

нервової тканини - не зраджуйте цей висновок, оскільки форми хвиль і частотні спектри цих полів відрізняються від таких для полів GWEN.

Фізіологічні ефекти полів СНЧ - з частотами менше однієї п'ятисотой частоти полів GWEN - зазвичай пов'язані з високою інтенсивністю поля і великою щільністю індукованого струму в тканини. Деякі фізіологічні ефекти полів СНЧ, які можуть виникати в результаті низького індукованого струму в тканини, наприклад, зміни концентрації мелатоніну в пінеальному залозі, не уявляють прямого ризику для здоров'я людини. В цілому, дослідження фізіологічного впливу полів СНЧ не дали мало доказів того, що вплив низькочастотних полів від антен GWEN в областях, найбільш ймовірно доступних для населення, являє собою ризик для здоров'я.

Вплив електромагнітних полів на людину стало великою проблемою для громадської думки, яке найчастіше підозрює погані наслідки для здоров'я. Ця темна сторона висувається на перший план, в той час як деякі позитивні аспекти цих взаємодій залишаються прихованими. Крім медичних зображень, які зазвичай використовуються і приймаються людьми, електромагнітні поля можуть бути інструментом складних технологій для клінічних або біотехнологічних додатків.

Цей момент можна проілюструвати феноменом, званим електропермеабілізацією (часто званим Електропорація). Дійсно, проникність клітинної мембрани для молекул може бути тимчасово збільшена, коли на клітку прикладається імпульс зовнішнього електричного поля в мікро- або мілісекундах. При відповідних умовах, що залежать, головним чином, від параметрів імпульсу, життєздатність клітини може бути збережена. Це елегантний спосіб отримати доступ до цитоплазми і ввести вибрані чужорідні молекули без незворотного пошкодження клітини. Наприклад, мікробіологи зазвичай використовують явище електропроніцаємості, щоб здійснити перенесення генів в бактерії шляхом введення плазмиди в цитоплазму. Тепер цей метод також пропонується як ефективний спосіб доставки ліків, олігонуклеотидів, антитіл і плазмід *in vivo* (*In vivo* у

буквальному перекладі з лат. - «в (на) живому»), тобто «всередині живого організму» або «всередині клітини». У науці *in vivo* означає проведення експериментів на (або всередині) живої тканини при живому організмі).

Таким чином, якщо мікробіологи грубо використовують електропроніцаємость, коли враховується тільки ефективність переносу гена без будь-якого врахування швидкості летального ефекту, вкрай важливо контролювати і охарактеризувати ефект прикладеного перехідного електричного поля при розгляді питання про ліки, або ветеринарні добавки *in vivo* [52].

У зв'язку з тим, що проникність клітин відбувається тільки там, де локальне поле досягає критичного значення через мембрану, ми стикаємося з ключовим питанням: як ми можемо локально контролювати поле і що відбувається як на мембранному, так і на клітинному рівні, коли електромагнітне поле застосовується на тканинному рівні.

Щоб відповісти на це питання, ми повинні мати справу з великою кількістю підпитань, деякі з яких:

- діелектрична характеристика тканин на макроскопічному рівні,
- актуальна модель комірки з урахуванням проблеми,
- діелектричні характеристики різних частин осередку.

Проблеми, про які йдеться в наведеному вище неповному списку, тісно пов'язані, і кожна з них є науковою проблемою для дослідників, що займаються вивченням взаємодії між електромагнітними полями і живими речовинами. Серед цих проблем розуміння і контроль цієї взаємодії на рівні клітини можна розглядати як основна вимога для розуміння того, що відбувається на більш високому рівні.

У цій монографії основна увага приділяється одному аспекту взаємодії електричного поля з живою клітиною. Це стосується методу, який може бути реалізований для вилучення діелектричних параметрів окремого осередку. Клітини - це елементарні одиниці живих істот. Їх можна розділити на дві основні категорії:

- прокаріотичні клітини (організми без ядра клітини), що не мають ядра, що містять генетичний матеріал. Їх розмір знаходиться в межах декількох мікрометрів. Бактерії належать до цієї категорії;

- еукаріотичні клітини, що мають ядро. Зазвичай вони в 10 разів більше прокаріотів клітин. Тканини, органи тварин, грибів і рослин побудовані з таких клітин.

Клітини нашого організму різноманітні за будовою і функціями. Клітини крові, кісткової, нервової, м'язової та інших тканин зовні і внутрішньо сильно розрізняються. Разом з тим практично всі вони мають загальні риси, характерні для тварин клітин.

В основі будови клітини людини лежить мембрана. Вона, подібно до конструктора, утворює мембранні органели клітини і ядерну оболонку, а також обмежує собою весь обсяг клітини.

Мембрана побудована з подвійного шару ліпідів. Із зовнішнього боку клітки на ліпідах мозаїчно розміщуються білкові молекули. Виборча проникність - основна властивість мембрани. Воно означає, що одні речовини мембраною пропускаються, а інші ні. Звичайно, різні види клітин можуть мати найрізноманітніші форми і структури, але у цих структурах завжди є дві загальні точки: цитоплазма і мембрана. На рис. 15. Наведено будова клітини людини.

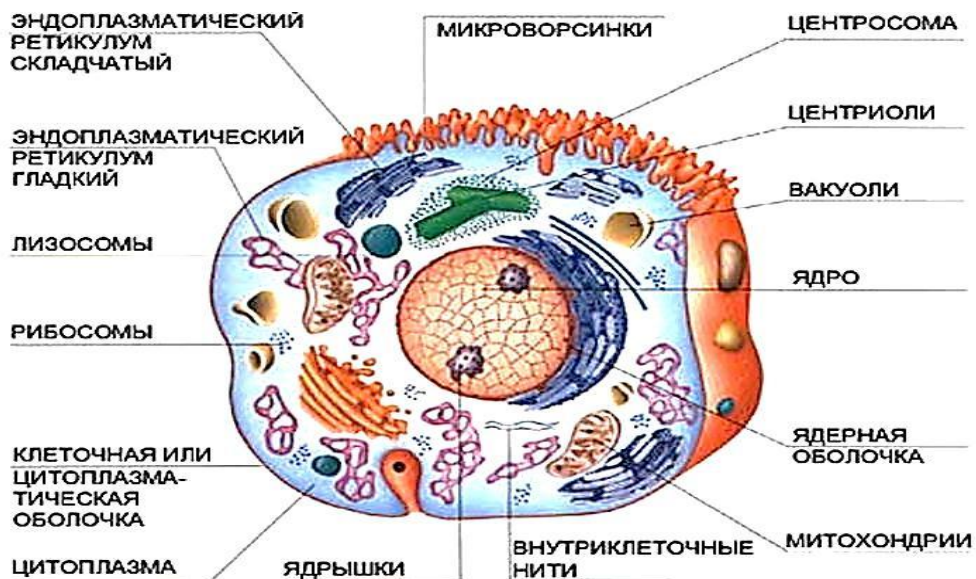


Рис. 15. Будова клітини людини

Примітки:

Цитоплазма - це рідке середовище клітини. У цитоплазмі розташовуються органели і включення. Цитоплазматическая оболонка, оболонка, що покриває поверхню клітини, що забезпечує її цілісність і регулююча обмін речовин.

Рибосома - найважливіша немембранні органела всіх живих клітин, що служить для біосинтезу білка з амінокислот по заданій матриці на основі генетичної інформації, що надається матричної РНК (мРНК). Цей процес називається трансляцією. Рибосоми мають сферичну або злегка еліпсоїдну форму, діаметром від 15-20 нанометрів (прокаріоти) до 25-30 нанометрів (еукаріоти), складаються з великої та малої субодиниць. Мала субодиниця зчитує інформацію з матричної РНК, а велика - приєднує відповідну амінокислоту до синтезованої ланцюжку білка.

Лізосома (від грец. λύσις - розкладання і σῶμα - тіло) - оточена мембраною клітинна органела, в порожнині якої підтримується кисле середовище і знаходиться безліч розчинних гідролитических ферментів. Лізосома відповідає за внутрішньоклітинний перетравлювання макромолекул, в тому числі при аутофагії; лизосома здатна до секреції свого вмісту в процесі лізосомного екзоцитозу; також лизосома бере участь в деяких внутрішньоклітинних сигнальних шляхах, пов'язаних з метаболізмом і зростанням клітини [53].

Ендоплазматичний ретикулум (ЕПР) гладкий або ендоплазматична сітка (ЕПС), - внутрішньоклітинний органоид еукаріотичної клітини, що представляє собою розгалужену систему з оточених мембраною сплюснені порожнин, бульбашок і каналців. Функції гладкого ЕПР агранулярного ендоплазматичний ретикулум бере участь у багатьох процесах метаболізму. Також агранулярний ендоплазматичний ретикулум грає важливу роль у вуглеводному обміні, нейтралізації отрут і запасанні кальцію. Ферменти гладкого ЕПР беруть участь в синтезі різних ліпідів і фосфоліпідів, жирних

кислот і стероїдів. Зокрема, у зв'язку з цим в клітинах надниркових залоз і печінки переважає гладкий ендоплазматичний ретикулум.

Гладкий ендоплазматичний ретикулум бере участь у багатьох процесах метаболізму. Також агранулярний ендоплазматичний ретикулум грає важливу роль у вуглеводному обміні, нейтралізації отрут і запасанні кальцію. Ферменти гладкого ЕПР беруть участь в синтезі різних ліпідів і фосфоліпідів, жирних кислот і стероїдів. Зокрема, у зв'язку з цим в клітинах надниркових залоз і печінки переважає гладкий ендоплазматичний ретикулум.

Ендоплазматичний ретикулум складчастий або шорсткий (гранулярний). Сукупність плоских структур, з'єднаних між собою і сполучених з ядерною мембраною. До неї прикріплено велика кількість рибосом.

Мікрворсинки (лат. Microvillus мн.ч. Microvilli) - виріст еукаріотичної (зазвичай тваринної) клітини, що має пальцевидну форму і містить всередині цитоскелет з Актинові мікрофіламентів. З мікрворсинок складається комірець у клітин хоанофлагеллят і у Воротничковоя-джгутикових клітин губок і інших багатоклітинних тварин. В організмі людини мікрворсинки мають клітини епітелію тонкого кишечника, на яких мікрворсинки формують щеточну облямівку, а також механорецептори внутрішнього вуха - волоскові клітини.

Центросома або клітінний центр - головний центр організації мікротрубочок (ЦОМТ) і регулятор ходу клітінного циклу в клітинах еукаріотів. Вперше виявлено в 1888 році Теодором Бовері, Який назвавши її особливо органом клітінного поділу. Хоча центросома відіграє найважливішу роль в клітінному поділі, Нещодавно Було показано, що вона НЕ є необхідною. У більшості випадків Всередині Клітини присутності тільки одна центросома. Аномальне Збільшення числа центросом характерне для багатьох ракових клітин. Мати більше за одну ЦЕНТРОС в нормі характерно для Деяк поліенергідних Найпростіші і для сінцітальних структур.

Центриоль - органела еукаріотичної клітини. Розмір центриоли знаходиться на кордоні роздільної здатності світлового мікроскопа. Центриоли беруть участь у формуванні веретена поділу і розташовуються на його полюсах. У неделящихся клітинах (наприклад, епітелію) центриоли часто визначають полярність клітин і знаходяться поблизу комплексу Гольдж.

Вакуоль (лат. Vacuus - порожній) - велика одномембранна органела в центральній частині рослинної клітини (також є в тварин і грибних клітинах, але у них вакуолі менше), заповнена клітинним соком; міститься в деяких клітині. Мембрана, в яку укладена вакуоль, називається тонопласт, а вміст вакуолі - клітинний сік. Клітинний сік складається з води і розчинених в ній речовин, а також з моносахаридів, дисахаридів, танінів, вуглеводів, неорганічних речовин (нітрати, фосфати, хлориди та ін.) І органічних кислот. Розрізняють травні і скоротливі (пульсуючі) вакуолі, що регулюють осмотичний тиск і службовці для виведення з організму продуктів розпаду.

Клітинне ядро (лат. Nucleus) - оточена двома мембранами органела (компаратмент) еукаріотичної клітини (в клітинах прокаріотів ядро відсутня). Зазвичай в клітинах еукаріот є одне ядро, однак деякі типи клітин, наприклад, еритроцити ссавців, не мають ядер, а інші містять кілька ядер. У ядрі міститься велика частина генетичного матеріалу клітини, представленого хромосомами, довгими лінійними молекулами ДНК, пов'язаними з білками. Генетичний матеріал, локалізований в хромосомах, становить ядерний геном. Ядро підтримує цілісність генетичного матеріалу, а що входять до його складу структури управляють клітинними процесами, регулюючи експресію генів, тому ядро є, по суті, контролюючим центром клітини. До основних структур, з яких складається ядро, відносять хроматин, ядерце, ядерну оболонку - подвійну мембрану, навколишнє ядро і ізолюючу його від цитоплазми, а також ядерний матрикс, який включає ядерну Ламін - мережа філаментов, що забезпечує механічну підтримку ядра, подібно цитоскелету в цитоплазмі .

Ядерна оболонка клітини. Оскільки ядерна оболонка непроникна для великих молекул, транспорт молекул через ядерну оболонку (ядерний транспорт [en]) забезпечують ядерні пори. Пори пронизують обидві ядерні мембрани і формують наскрізний канал, через який малі молекули і іони проходять вільно, а великі молекули активно транспортуються за участю білків-переносників. Перенесення через ядерні пори таких великих молекул, як білки і РНК, необхідний для експресії генів, підтримки хромосом і збірки рибосомних субодиниць. Хоча всередині ядра немає оточених мембраною субкомпартментів, його внутрішній вміст неоднорідне і містить ряд ядерних тілець, які складаються з особливих білків, молекул РНК і частин хромосом. Найвідоміше ядерне тільце - ядерце, в якому відбувається складання рибосомних субодиниць. Після утворення в полісом рибосомні субодиниці транспортуються в цитоплазму, де вони здійснюють трансляцію мРНК.

Мітохондрія (від грец. Μίτος - нитка і χόνδρος - зернятко, крупинка). Сферична або еліпсоїдна органела діаметром зазвичай близько 1 мікрметра. Характерна для більшості еукаріотів, як автотрофів (фотосинтезуючі рослини), так і гетеротрофів (гриби, тварини). Енергетична станція клітини; основна функція - окислювання органічних сполук і використання звільняється при їх розпаді енергії для генерації електричного потенціалу, синтезу АТФ і термогенеза. Ці три процеси здійснюються за рахунок руху електронів по електронно-транспортного ланцюга білків внутрішньої мембрани. Кількість мітохондрій в клітинах різних організмів істотно відрізняється: так, одноклітинні зелені водорості (Евглена, хлорелла, політомелла) і трипаносоми мають лише одну гігантську мітохондрию, тоді як ооцит і амеба містять 300 000 і 500 000 мітохондрій відповідно; у кишкових анаеробних ентамеб і деяких інших паразитичних найпростіших мітохондрії відсутні. У спеціалізованих клітинах органів тварин містяться сотні і навіть тисячі мітохондрій (мозок, серце, м'язи).

Внутрішньоклітинні нитки - спеціальні волокна в цитоплазмі, які надають форму клітині, вони утворюють цитоскелет.

Ядро - найбільш щільна структура еукаріотичної клітини. Щільність ядерця обумовлена високим вмістом білка (до 70-80% сухої маси). Крім білка, ядро - немембранні внутрішньоядерних субкомпаратмент, властивий всім без винятку еукаріотичних організмів. Являє собою комплекс білків і рибонуклеопротеїдів, що формується навколо ділянок ДНК, які містять гени рРНК - ядерцевих організаторів. Основна функція ядерця - освіту рибосомних субодиниць. У полісом виділяють три основних структурних компонента, що відповідають різним етапам біогенезу рибосом: фібрилярний центр (ФЦ), щільний фібрилярний компонент (ПФК) і гранулярний компонент (ГК). На початку мітозу відбувається розбирання ядерця, а після закінчення мітозу вони збираються знову. В даний час є дані про участь ядерця в процесах, не пов'язаних з біогенезом рибосом - наприклад, в стресовому відповіді, збірці частинок розпізнавання сигналу [en]; крім того, ядро взаємодіє з багатьма вірусами. Ядро бере участь у розвитку багатьох захворювань людини, в тому числі ракових і, можливо, нейродегенеративних і аутоімунних.

Визначення цитоплазми у еукаріотичних і прокаріотичних клітин трохи відрізняється, але в даному контексті це не має значення. Цитоплазма являє собою желеподібну речовину, в якій вода становить до 70% клітинної маси. Схема типового ядра клітини наведено на рис. 16.

Мембрана - це зовнішня оболонка клітини, навколишнє цитоплазму. Вона діє як вибірково проникний бар'єр, утримуючи сторонні предмети поза клітиною і його вміст всередині клітини (цитоплазма), дозволяючи одночасно відібраним матеріалам проходити всередину і з клітки. Це структура, яка складається в основному з молекул фосфоліпідів організовані в подвійний шар, і білки, які контролюють іонний обмін через мембрану.

Ця мембрана тонка в порівнянні з розміром клітини. Її товщина знаходиться в діапазоні 2-9 нанометрів. Цей контраст з точки зору розміру - добре відома проблема чисельного моделювання.

Всі клітини тварин (за невеликим винятком - еритроцити) і рослин мають ядро. В більшості клітин є одне ядро, рідше трапляються два і багатоядерні клітини. Багатоядерними є клітини деяких видів найпростіших, а також клітини печінки, мозку і м'язів людини. Вони часто виникають внаслідок злиття кількох клітин в одну. Форма ядра здебільшого залежить від форми та розмірів клітини. Зазвичай у кулястих клітинах ядро має округлу форму, у видовжених м'язових клітинах ядро також видовжене. У деяких клітинах ядра можуть мати неправильну форму, наприклад, у лейкоцитів підковоподібні або лапчасті ядра. Форма ядра може змінюватися з віком клітини й залежить від її функціонального стану. Розміри ядра найчастіше коливаються від 2 до 20 мкм. Для кожного типу клітин існує певне ядерноплазматичне співвідношення, порушення якого призводить до поділу клітини або її загибелі.

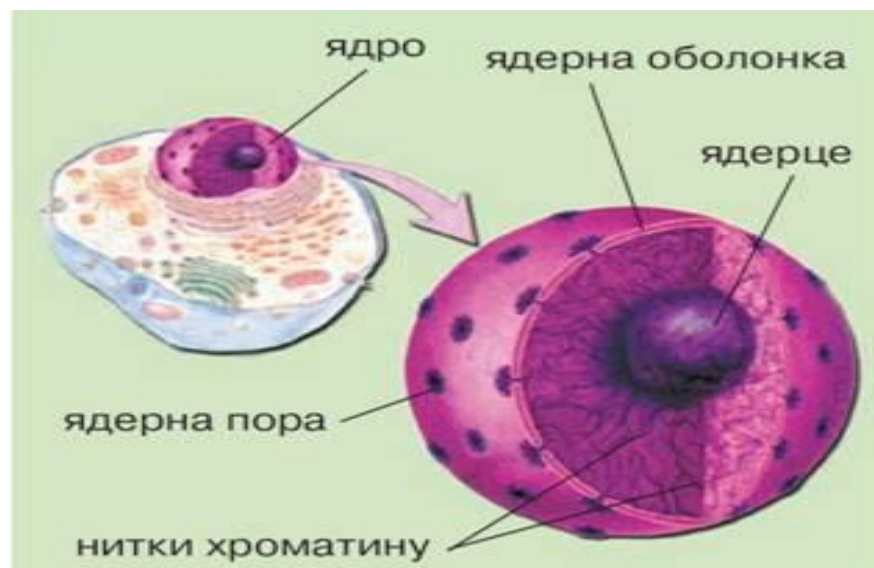


Рис. 16. Схема типового ядра клітини

В ядерних мембранах є пори діаметром 80-100 нм. Крізь них відбувається обмін між ядром і цитоплазмою. Вміст ядра називають ядерним соком (каріоплазмою). У ньому міститься 1-2 ядерця й особлива речовина - хроматин (гр. *chroma* - колір, забарвлення). Ця речовина добре фарбується ядерними барвниками. У прокаріотів хроматин складається лише з молекул

ДНК, а в еукаріотів - із ДНК, основних низькомолекулярних білків (гістонів), невеликої кількості кислих білків та ІРНК.

Ядро - це не просто важлива частина клітини, а центр керування її життєвими процесами - обміном речовин, рухом, розмноженням. В ядрі зосереджена основна маса ДНК, яка є носієм спадкової (генетичної) інформації, тобто ядро виконує функцію зберігання інформації про всі ознаки організму, а під час поділу клітини передає її дочірнім клітинам. Позбавлені ядра клітини (наприклад, еритроцити людини) мають порівняно коротку тривалість життя і не здатні до подальшого поділу і відновлення своєї цілісності в разі пошкодження.

МЕМБРАНА КЛІТИНИ (рис. 17) – зовнішня оболонка живої клітини, що відокремлює її цитоплазму від навколишнього середовища.

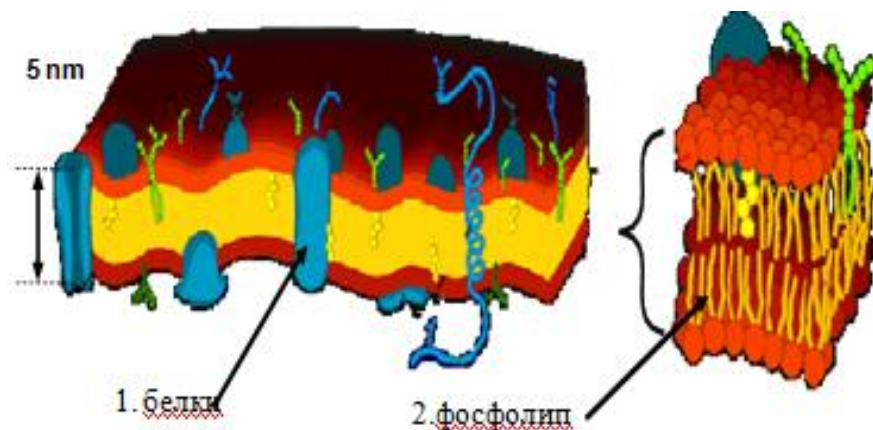


Рис. 17. Схема структури мембрани клітини

Складається з двох шарів ліпідів, також містить білки і вуглеводи. Клітина є найменшою структурою і функціональною одиницею живого; має всі властивості живої системи: здійснює обмін речовин та енергії, росте, розмножується, передає у спадок свої ознаки, реагує на подразнення і може рухатися. Ізольовані клітини багатоклітинних організмів продовжують жити і розмножуватися у відповідності поживчого середовища.

Плазматична мембрана оточує кожену клітину, визначає її величину, забезпечує збереження істотних відмінностей між клітинами, вмістом і оточуючим середовищем. Вона є вибірконим фільтром, напівпроникливим

бар'єром, який утримує різницю концентрацій іонів по обидва боки мембрани і дозволяє поживчим речовинам потрапляти в клітину, а продуктам виділення – назовні. Усі біологічні мембрани, зокрема й плазматичні мембрана і внутрішні мембрани еукаріотних клітин, мають загальні структурні особливості. Це ансамблі ліпідів і білків молекул. Більша частина мембранних ліпідів і білків у площині мембрани здатна швидко переміщуватися. Мембрани асиметричні: обидва їхні шари відрізняються за білками і ліпідами складом, що забезпечує їхню функціональну різницю.

Прокаріотні клітини (переважно бактерії) мають тільки плазматичну мембрану, тоді як еукаріотним клітинам властива велика кількість внутрішніх мембран. На поверхні плазматичних мембран знаходяться гліколіпіди і глікопротеїни. Вуглеводи клітин. поверхні (глікокалікс) залучаються до хронічного запалення, вірусів і бактеріальної інфекції, до туморогенезу і метастазування. Типова еукаріотна клітина у багато разів більша за бактеріальну.

Внутрішні мембрани різних типів розділяють клітину на спеціалізовані компартменти (органели): лізосоми, пероксисоми, гладенький і шорсткий ендоплазматний ретикулум, апарат Гольджі. Існують також органели з подвійними мембранами: ядро, мітохондрії, пластиди. Нейрони розглядають як клітини, що досягли вершини спеціалізації. Співвідношення площі плазматичної мембрани з об'ємом цитоплазми нейронів мозку ссавців у 10 тис. разів перевищує такий показник у більшості еукаріот. клітин. Для нейронів властиві чіткі розділення на дискретні функціонал. домени: дендрити і шипики, тіло нейрона, аксон. горбик, аксон і його пресинаптичне розгалуження, терміналі. Для кожного домена нейрона властива наявність у плазмат. мембрані певних білків: рецепторів, йонних каналів, транспортерів, молекул адгезії. Апарат Гольджі забезпечує остаточне формування мембран. білків і їх розподілення за адресою. Варіабельність плазмат. мембрани створює можливість існування у мозку людини біля тисячі типів нерв. клітин. Плазмат. мембрана кожної нерв. клітини містить значну кількість

різновидів йонних каналів як потенціал керованих, так і ліганд керованих. Досягнуті успіхи у вивченні орг-ції клітин. мембран, зокрема плазматичної, свідчать, що ліпід. бішар служить не лише матриксом для функціонування мембран. білків. Встановлено, що він бере участь у перетворенні різноманіт. сигналів і регулює внутрішньомембранні переміщення мембран. білків.

Кліточна мембрана (також цитолемма, плазмалемма, або плазматична мембрана) — еластична молекулярна структура, що міститься з білків і ліпідів. Відділення содержимого будь-якої клітини від зовнішнього середовища, забезпечує її цілісність; регулює обмін між кліткою і середньою; внутрішньоклітинні мембрани розділяють клітку на спеціалізовані замкнуті відсіки — компартменти або органелли, в яких підтримуються певні умови середи.

Електромагнітні випромінювання являють собою змінні електричного і магнітного поля або коливання, які поширюються в просторі і мають взаємозв'язок між собою. Вони поширюються в середовищі, яке має певні властивості. Електромагнітні поля мають дуальну природу і мають хвильові і квантовими властивостями. Електромагнітні випромінювання являють собою змінні електричного і магнітного поля або коливання, які поширюються в просторі і мають взаємозв'язок між собою. Вони поширюються в середовищі, яка має певні властивості. Електромагнітні поля мають дуальну природу і мають хвильові і квантові властивості.

Кожен вид електромагнітного випромінювання має певну частоту і довжину електромагнітної хвилі. Залежно від довжини хвилі розрізняють гамма-випромінювання, рентгенівське, ультрафіолетове, видиме світло, інфрачервоне випромінювання, радіохвилі і низькочастотні електромагнітні коливання. Також всі електромагнітні хвилі розрізняють за такими ознаками, як спосіб отримання, спосіб реєстрації і характер взаємодії з речовиною [54].

Виділяють два види електромагнітного випромінювання: антропогенне і природне. Природне електромагнітне випромінювання є одним з факторів, що впливає на життєдіяльність живих організмів на Землі.

Антропогенне електромагнітне випромінювання з'явилося в зв'язку з розвитком і вдосконаленням технологій, які призвели до електромагнітного забруднення навколишнього середовища. Навколишнє середовище з високим рівнем електромагнітних випромінювань антропогенного походження становить високу небезпеку щодо життєдіяльності біологічних систем.

У зв'язку з цим виникає проблема біологічної сумісності джерел електромагнітного поля антропогенного походження і живої природи. В процесі еволюції живі організми пристосувалися до природного електромагнітного поля. В результаті різноманітної діяльності людини в сфері технологій змінився загальний електромагнітний фон навколишнього середовища, до яких живим організмам адаптуватися складно [54].

В останні 5 кілька років особливу роль в якості джерел електромагнітного випромінювання, що впливають на живий організм, є стільниковий зв'язок, ПЕОМ, супутниковий зв'язок, ЕМІ ПЧ, радіо- та телемовлення. Механізм впливу електромагнітного випромінювання на клітину ґрунтується на взаємодії з її клітинною мембраною. Мембрана являє собою бішар молекул спеціального класу ліпідів - фосфоліпідів. Також клітинну мембрану представляють як конденсатор, який має зовню позитивно заряджену обкладку, а негативно заряджену - зсередини. Процеси, що відбуваються при взаємодії живої клітини з електромагнітними полями, досить складні.

Антропогенні випромінювання несприятливо позначаються на функції організму. Живі організми, які складаються з безліч клітин, що мають величезне число молекул, атомів, заряджених частинок, самі є джерелами електромагнітних коливань в широкому діапазоні частот - від ультрависоких до інфранизких. Ці коливання можуть мати випадковий або періодичний характер. Однак, при впливі електромагнітного випромінювання на клітину в мембрані виникають акустичні коливання, які мають ту ж частоту, що і випромінювання. Таке явище називається тимчасовим резонансом. Якщо на клітину впливає ЕМВ певної частоти, то

по клітинній мембрані пройде акустична поздовжня хвиля. В результаті, якої потенційна енергія мембрани перетворюється в кінетичну енергію руху компонентів мембрани.

У доісторичні часи, на зорі людства, перші "хомо-сапієнс" промишляли збиранням, вживали в їжу сире м'ясо, одягалися в шкури вбитих тварин, жили в печерах, пересувалися по чистій землі виключно на своїх двох або простіше - задовольнялися тим, що було їм дано. Минуло небагато часу, співвідносні віку нашої планети, і що ми маємо? Прокинувшись вранці ми йдемо на кухню, підігріваємо їжу в мікрохвильовій печі, включаємо електричний чайник, сушимо волосся за допомогою фена, ставимо на підзарядку мобільний телефон. Снідаючи ми дивимося у вікно і бачимо поруч дзижчить лінія електричних передач, під якою жваво пройшов трамвай ... На робочому місці чути маленький фон від працюючих електричних приладів - наших маленьких, розумних помічників.

Електрична енергія - найбільше відкриття людства, без якого цивілізації в її сьогоденнішому вигляді не існувало б. Цей вид енергії широко використовується людством, але у палки є два кінця ... Електромагнітне поле (електромагнітне випромінювання) завжди виникає при русі вільних електронів в провіднику, тому передача електричної енергії супроводжується інтенсивним електромагнітним випромінюванням.

У певних випадках електромагнітне випромінювання має більш згубний вплив на живий організм, ніж радіаційне випромінювання. Справа в тому, що радіаційний фон був на нашій планеті завжди і в певні часи (а подекуди і зараз) його рівень був вищий ніж в Чорнобильській зоні відчуження. Рівень же електромагнітного поля землі з кожним роком тільки збільшується, що пов'язано з людською діяльністю. На території СНД загальна протяжність тільки ЛЕП-500 кВ перевищує 20000 км (крім ЛЕП-150, ЛЕП-300, ЛЕП-750). Лінії електропередач і деякі інші енергетичні установки створюють електромагнітні поля промислових частот (50 Гц) в сотні разів вище середнього рівня природних полів. Напруженість поля під ЛЕП може

досягати десятків тисяч В / м. Найбільша напруженість поля спостерігається в місці максимального провисання проводів, в точці проекції крайніх проводів на землю і в п'яти метрах від неї назовні від поздовжньої осі траси: наприклад, для ЛЕП-330 кВ - від 3,5 до 5 кВ / м, для ЛЕП - 500 кВ - від 7,6 до 8 кВ / м, для ЛЕП-750 кВ - від 10 до 15 кВ / м.

Негативний вплив електромагнітних полів на людину і на ті чи інші компоненти екосистем прямо пропорційно потужності поля і часу опромінення. Неприятливий вплив електромагнітного поля, створюваного ЛЕП, виявляється вже при напруженості поля, яка дорівнює 1 кВ / м. У людини порушується робота ендокринної системи, обмінні процеси, функції головного і спинного мозку та ін.

До теперішнього часу, за даними екологів і лікарів-гігієністів відомо, що всі діапазони електромагнітного випромінювання впливають на здоров'я і працездатність людей і мають віддалені наслідки. Вплив електромагнітних полів на людину і силу їх великої поширеності більш небезпечна, ніж радіація.

Електричні поля промислової частоти оточують людину цілодобово, завдяки випромінюванням від електропроводки, освітлювальних засобів, побутових електроприладів, ліній електропередач і т. п. Енергетичне навантаження від електромагнітних випромінювань в промисловості і в побуті зростає постійно в зв'язку зі стрімким розширенням мережі джерел фізичних полів електромагнітної природи, а також зі збільшенням їх потужностей. Людина не здатна фізично відчувати довколишнє електромагнітне поле, проте воно викликає зменшення його адаптивних резервів, зниження імунітету, працездатності, під його впливом у людини розвивається синдром хронічної втоми, збільшується ризик захворювань. Особливо небезпечна дія електромагнітних випромінювань на дітей, підлітків, вагітних жінок і осіб з ослабленим здоров'ям.

Усередині клітинної системи структура диктує функції. Будь-яка взаємодія між клітинами або клітиною і її оточенням може мати

довгострокові наслідки для функції даної клітини і виникають клітинних агрегатів. Структура і функції клітин постійно піддаються модифікації за допомогою електричних і хімічних подразників. Однак біологічні системи також піддаються постійному впливу: електромагнітної (ЕМ) середовищі. Біологічні системи потенційно схильні до впливу тонких енергій, які обмінюються на атомному і субатомному масштабах як електромагнітні явища. Ці обміни енергією потенційно можуть проявитися на більш високих рівнях дискурсу і вплинути на результат (поведінку) біологічної системи. Тут ми описуємо теоретичні і експериментальні докази впливу ЕМ на клітини і інтеграцію цілих систем. Навіть слабкі взаємодії між електромагнітними енергіями і біологічними системами демонструють потенціал впливу на систему, що розвивається. Ми припускаємо, що зростаюча література про ефекти ЕМ на біологічні системи має значні наслідки для клітини і її функціональних агрегатів.

Біологічна система залежить від міжклітинної і внутрішньоклітинної комунікації для свого розвитку, підтримки і поширення. Цей зв'язок дозволяє окремій клітинці взаємодіяти з системами сусідніх осередків, а також з навколишнім середовищем. Література, присвячена внутрішньоклітинної та міжклітинної комунікації, швидко зростає, з упором на електричні та хімічні механізми (Qian, 2007; Nielsen et al., 2012; Venturi and Fugua, 2013). Однак кошти, за допомогою яких біологічна система може зв'язуватися або взаємодіяти через нехімічну неелектричну середу, ще належить ретельно вивчити. Були проведені початкові дослідження можливого внеску електромагнітного (ЕМ) спектра (нехімічного неелектричних) в біологічні системи (Gurwitsch, 1926; van Wijk et al., 1993; Cifra et al., 2011). Ці дослідження продемонстрували, що є в самих біологічних системах і в електромагнітному спектрі. Тут ми прагнемо дослідити глибину, до якої вплив навколишнього середовища, зокрема електромагнітні поля (ЕМП), може чинити на розвивається клітку. А точніше, вплив електромагнітних полів на клітинні агрегати, цілі організми і інтеграцію цілих систем.

6. МЕХАНІЗМИ БІОЛОГІЧНОЇ ДІЇ ЕМП НА ЛЮДИНУ

Електромагнітні поля (ЕМП) складаються з електричних і магнітних компонентів, що проявляються у вигляді силового поля. Силкові поля можуть бути як статичними, так і динамічними. Динамічні поля відображають тимчасові варіації інтенсивності, які можуть варіюватися від декількох циклів в секунду (Гц) до потенційно 10^4 циклів в секунду (Adey, 1980, 1981). Природа цих тимчасових змін може бути симетричною, наприклад синусоїдальні або прямокутні хвилі, або складною, наприклад, варіації, які генеруються осередками. Найбільш типовим прикладом останнього може бути потенціал дії нейрона і хитромудро структурована динаміка коркового поля головного мозку, яка визначається за допомогою кількісної електроенцефалографії (QEEG).

Найбільш помітне місцеве магнітне поле виходить від Землі. Сама планета генерує унікальні ЕМП, які були присутні з часів абиогенеза. Палеомагнітні дослідження показують, що полярні зрушення в орієнтації циклу магнітного поля Землі із середньою періодичністю 105 років (Banerjee, 2001). В середньому його встановилася інтенсивність складає близько 50 000 нанотесла (нТл). Однак є нестационарні зміни, амплітуди яких приблизно в тисячу разів менше встановленого значення. Існує велика кількість літератури, яка б показала, що ці зміни геомагнітної інтенсивності порядку 10-500 нТл впливають на біологічні системи (Adey, 1980, 1981). Велика частина вкладів в ці обурення походить від Сонця і його електромагнітного розширення: міжпланетного магнітного поля або сонячного вітру. Однак є менші зміни величини через місячної орбіти і вторинних і третинних ефектів від індукції струмів в верхній іоносфері. Деякі з цих більш дрібних коливань демонструють помітні місцеві і добові варіації. Між Землею і іоносферою основна частота (від 7 до 8 Гц) і її гармоніки безперервно генеруються що в першу чергу є розрядами блискавки (Persinger et al., 2012).

У минулому столітті в природному середовищі з'явилося безліч джерел промислових ЕМП. Ці штучні інтенсивності і тимчасові патерни

допомогою феномена биття (при відніманні частот різниця проявляється як «віртуальна» частота), які можуть створювати патерни, настільки ідентичні молекулярним і клітинним системам, що можуть виникати резонансні взаємодії. . Інтенсивності виготовлених ЕМП перевищують кілька порядків. В даний час існують правдоподібні моделі, які показують, що сама ДНК поводить себе як сукупність ЕМ-антен, яка може розрізняти, диференціювати і перетворювати енергії ЕМ в відмінності в послідовності пар основ (Cosic, 1994; Mihaï et al., 2014 року). З огляду на все вищесказане, електромагнітна середовище, яке становить середу, в яку біологічні системи весь час занурені, дуже неоднорідна при роботі в межах смуги частот і амплітуди, які оптимально підходять для взаємодії з клітинами.

Що довкола людини існує електромагнітне поле. Насправді воно оточує не лише тіло людини - різні поля існують всюди. Наприклад, ми постійно знаходимося в магнітному полі Землі, без якого просто не змогли б вижити. Сьогодні вчені вже знають, що всі живі організми мають електричність, як наслідок, магнітні поля. Ці поля можна визначити за допомогою спеціальної апаратури. Іншими словами, людина має не лише матеріальне тіло, але й електромагнітну складову, що володіє всіма її індивідуальними особливостями. Ці два компоненти забезпечують зв'язок людини з навколишнім світом на відповідному рівні: фізичному або електромагнітному. На електромагнітне поле людини можуть впливати явища, які не видно людським оком, оскільки сприйманий ним спектр випромінювання вельми обмежений. Але це не значить, що ними можна нехтувати. У жодному разі механізм дії електромагнітного випромінювання на живі організми досі остаточно не розшифрований. Існує кілька гіпотез, що пояснюють біологічну дію електромагнітного поля. В основному вони зводяться до індіцірованія струмів в тканинах і безпосередньому впливу поля на клітинному рівні, в першу чергу з його впливом на мембранні структури. Передбачається, що під дією електромагнітного поля може змінюватися швидкість дифузії через біологічні мембрани, орієнтація і конфірмація

біологічних макромолекул, крім того, стан електронної структури вільних радикалів. Мабуть, механізми біологічної дії електромагнітного поля мають, в основному, неспецифічний характер і пов'язані зі зміною активності регуляторних систем організму (рис. 18).

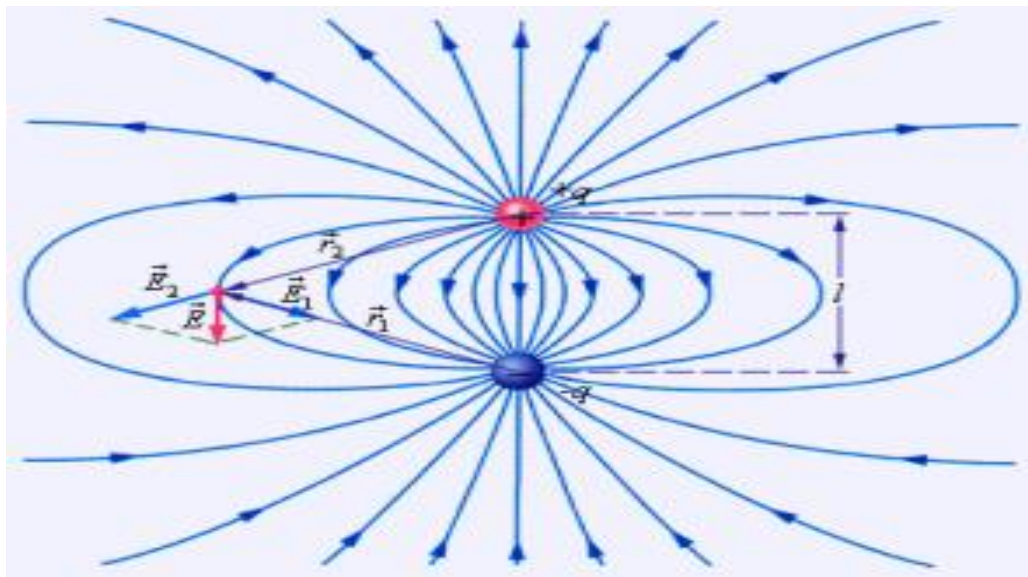


Рис. 18. Складова дія електромагнітного випромінювання

Електромагнітне випромінювання може діяти безпосередньо на думки, поведінку, настрій, життєвий тонус або на будь-які фізіологічні функції. До такого висновку приходять сучасні вчені, змушені передивлятися багато положень традиційних медичних поглядів на природу захворювань. Електромагнітне випромінювання може діяти безпосередньо на думки, поведінку, настрій, життєвий тонус або на будь-які фізіологічні функції. Фото: www.bodyway.ru Швидкість передачі імпульсу по мієлінових нервових волокнах («швидких»), не кажучи вже про переміщення регуляторів у рідинах організму, дуже низька для виконання цього завдання. Тому лише електромагнітні коливання можуть визначати діяльність незліченної кількості біологічних процесів у тканинах, а також відповідати за свідомий та підсвідомий прийом інформації.

Живі організми являють собою складні гетерогенні системи, в яких біоколлоїдами і фізико-хімічним реакціям належить провідна роль. На

підставі безперервних багаторічних досліджень декількома вченими було показано, що швидкість реакцій в колоїдних системах залежить від сонячної активності і розташування щодо геомагнітних полюсів, причому основна причина цього - зміна під впливом електромагнітного поля властивостей води - загального компонента реакцій в живих і неживих об'єктах.

Мішенню для ініціації будь-якого адаптує ефекту, в першу чергу, є мембрани, плазматичні і внутрішньоклітинні, що обмежують різні органели та внутрішньоклітинні компоненти. Відома велика чутливість клітинних мембран до дії самих різних хімічних і фізичних агентів, в тому числі до опромінення. Морфологічні та функціональні порушення мембран виявляються практично відразу після опромінення і при дуже малих дозах. Зміна іонного складу, що виникає при цьому, може ініціювати в клітині проліферативні процеси. Крім зміни проникності біологічних мембран і прискорення активного транспорту катіонів натрію, під впливом електромагнітного випромінювання відбувається активація перекисного окислення ненасичених жирних кислот і роз'єднання процесів окислення і фосфорилування в мітохондріях. Передбачається, що всі ці зміни на рівні клітини розвиваються з наступних причин:

Електромагнітне поле впливає на заряджені частинки і струми, внаслідок чого енергія поля на рівні клітини перетворюється в інші види енергії. Атоми і молекули в електричному полі поляризуються, полярні молекули орієнтуються у напрямку розповсюдження магнітного поля. В електролітах, якими є рідкі складові тканин, після впливу зовнішнього поля виникають іонні струми. Змінне електричне поле викликає нагрівання тканин живих організмів як за рахунок змінної поляризації діелектрика (сухожиль, хрящів, кісток), так і за рахунок появи струмів провідності. Тепловий ефект є наслідком поглинання енергії електромагнітного поля. Чим більше напруженість поля і час впливу, тим сильніше виражені вказані ефекти. До величини в 10 мВт / м, умовно прийнятої за теплової поріг, надлишкове тепло відводиться за рахунок механізму терморегуляції. Крім того,

чутливість органів до перегріву визначається їх будовою. Найбільш чутливі до перегріву органи зору, мозок, нирки, жовчний і сечовий міхур.

Перші експериментальні дослідження по впливу електромагнітного поля на нервову систему були проведені в СРСР. У монографіях професора Ю.А. Холодова опубліковані результати його багаторічних досліджень по проблемі впливу електромагнітних і магнітних полів на центральну нервову систему. Було встановлено наявність прямої дії електромагнітного поля на мозок, мембрани нейронів, пам'ять, умовно-рефлекторну діяльність. У модельних експериментах показана можливість впливу слабких електромагнітних полів на процеси синтезу в нервових клітинах. Отримано чіткі зміни імпульсації коркових нейронів, що призводять до порушення інформації, що передається в більш складні структури мозку. Р.І. Крутіковим виявлено, що при впливі електромагнітного поля в надвисокочастотному діапазоні може розвинути порушення короткочасної пам'яті [55].

В даний час накопичено достатньо даних, що вказують на те, що при впливі електромагнітного поля порушуються процеси імуногенезу. Встановлено, що під впливом електромагнітного поля змінюється характер інфекційного процесу, виникають порушення білкового обміну, спостерігається зниження вмісту альбумінів і підвищення гамма-глобулінів в крові. Крім того, електромагнітне поле може виступати в якості алергену або пускового фактора, викликаючи важкі реакції у хворих алергіків при контакті з електромагнітним полем.

Під впливом електромагнітного випромінювання знижується функція сперматогенезу, змінюється менструальний цикл, уповільнюється ембріональний розвиток, виникають вроджені каліцтва у новонароджених дітей і зменшення лактації у годуючих матерів.

Слабкі електромагнітні поля при інтенсивності менш порогу теплового ефекту також впливають на зміни в живій тканині. Дослідження по біологічному впливу стільникового телефону, комп'ютерного блоку та інших електронних засобів проведені в ряді російських наукових центрів, в тому

числі - і на біологічному факультеті Московського державного університету. При цьому шкідливість електронних засобів перевірялась як в робочому, так і у вимкненому стані пристрою, в тому числі і без засобів харчування.

Результати проведених досліджень з оцінки впливу стільникового телефону, комп'ютера та інших сучасних радіоелектронних засобів на різні організми як в робочому, так і у вимкненому стані виявились невтішними і показали вкрай негативний їх вплив на стан біологічних об'єктів, яке виявлялося:

- в зниженні рухової активності і виживаності мікроорганізмів;
- в збільшенні смертності мікроорганізмів;
- в погіршенні регенерації тканин;
- в порушення ембріонального і личиночного розвитку;
- в зниженні біохімічних реакцій, порушення метаболізму;
- в зниженні енергетичного потенціалу в усіх життєво важливих системах організму.

Більшість біологічних клітин є діамагнітними з об'ємною магнітною сприйнятливістю χ , яка більш-менш відповідає значенню води близько 10^{-5} ($\chi = \mu_r - 1$, де μ_r - відносна проникність). Якщо червоні кров'яні тільця мають більш високе значення чутливості ($-6,5 \cdot 10^{-6}$) через невеликої кількості заліза, яке вони містять, є також клітини, які володіють власною намагніченностью. Наприклад, *Magnetospirillum Magnetotactitum* - це бактеріальний вид, який синтезує ланцюжки магнітних наночастинок в цитоплазмі. Рівень намагніченості достатній, щоб бактерії були чутливі до магнітного поля Землі.

Що стосується діелектричних властивостей комірки, опис постійної проникністю і постійної провідністю актуально в діапазоні від 1000 Гц до 10^7 Гц. Два основних домену (цитоплазма і мембрана) клітини є високий контраст (таблиця 1) і грають найбільш значну роль в глобальному діелектричному поведінці клітини. Це причина, по якій цим двом регіонам приділяється увага з точки зору моделювання в першому підході. Дійсно,

навіть якщо обсяг мембрани мізерно малий у порівнянні із загальним обсягом осередку, останній має великий вплив на діелектричні властивості.

Таблиця 1. Діелектричні характеристики

Тип ячейки	цитоплазма		мембрана	
	ϵ_{cyt}	σ_{cyt} (S.m^{-1})	ϵ_{men}	σ_{men} (S.m^{-1})
еритроцити	59	0.3	4.4	$< 10^{-6}$
лімфоцити	45	0.4	6	$3 \cdot 10^{-6}$

***Примітки.** Клітини Jurkat є іморталізованих лінію людського Т-лімфоцитів клітини, які використовуються для вивчення гострої Т-клітинної лейкемії, передачі сигналів Т-лімфоцитами і експресії різних хемокінових рецепторів, чутливих до проникнення вірусів, зокрема ВІЛ. Юрка Т-клітини можуть продукувати інтерлейкін 2 і використовуються в дослідженнях, пов'язаних з вивченням чутливості раку до ліків і радіації. Вікіпедія site: buildwiki.ru

Майже високі значення відносної діелектричної проникності ϵ_{cyt} і провідності ϵ_{cyt} в цитоплазмі пов'язані з вмістом у воді і присутністю іонних частинок.

7. НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ ВИМІРЮВАНЬ НАПРУЖЕНОСТІ ЕМВ

Постанова Кабінету Міністрів України № 808 від 28 серпня 2013 року визначає «Перелік видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку». У пункті 26 цього переліку наведено РТО, які становлять підвищену екологічну небезпеку, це радіопередавальні, радіотелевізійні, радіолокаційні станції, цифрові радіорелейні станції, базові станції систем стільникового зв'язку. У спеціальній літературі і фахових виданнях з безпеки життєдіяльності недостатньо висвітлена тема впливу ЕМП на людину у електричних та гібридних автомобілях які мають силові установки, датчики, пристрої систем управління, інформації та зв'язку [57].

Електричні струми, поточні через електродвигун, ланцюги живлення та батареї під час руху, генерують МП в низькочастотних діапазонах (ультра низькочастотних (УНЧ), від 0,001 Гц до 10 Гц; вкрай низькочастотні (КНЧ), від 10 Гц до 300 Гц). Вищі гармоніки електромагнітного поля в електромобілі генеруються різноманітними електронними пристроями на борту, інформаційними системами і системами зв'язку. Тому вивчення

електромагнітної обстановки у електро та гібридних автомобілях, вплив ЕМВ на зміну адаптаційних реакцій організму людини і, як наслідок, на виникнення хвороб у людей, нормативна база, що регламентує ГДР ЕМП представляють науковий інтерес.

Для попередження професійних захворювань, які виникають в результаті тривалої дії електромагнітних випромінювань, встановлені гранично допустимі рівні електромагнітних випромінювань.

Нормування електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону здійснюється згідно із ГОСТ 12.1.006-84 "Електромагнітні поля радіочастот. Припустимі рівні на робочих місцях і вимоги до впровадження контролю", ДСН 239-96 "Державні санітарні норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань" і ДСанПіН 3.3.6.096-2002 "Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів".

Згідно з цими документами нормування електромагнітних випромінювань здійснюється в діапазоні частот від 50 кГц до 300 ГГц. Причому у діапазоні від 50 Гц до 300 МГц нормованими параметрами є напруженість електричної E , В/м, та магнітної H , А/м, складових поля, а у діапазоні від 300 МГц до 300 ГГц нормативним параметром є густина потоку енергії ГПЕ, Вт/м². Нормативною величиною є також гранично допустиме енергетичне навантаження $E_{HE} (В/м)^2 \times год$ та E_{HN} , $(А/м)^2 \times год$. Згідно із ГОСТ 12.1.006 – 84 ССБТ "Електромагнітні поля радіочастот. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю" нормативними параметрами в діапазоні частот від 60 кГц до 300 МГц є напруженості електричного і магнітного полів, в діапазоні частот від 300 МГц до 300 ГГц – поверхнева густина потоку енергії (табл. 7.1 та 7.2).

Табл. 7.1 Гранично допустимі напруженості електричного і магнітного полів

Частота	Допуст мі напруженості	
	електричного поля, В/м	магнітного поля, А/м
60кГц...3МГц	50	5
3...30МГц	20	-
30...50МГц	10	0,3
50...300МГц	5	-

Табл. 7.2 Норми опромінення УВЧ і НВЧ

Густина потоку енергії, Вт/м ²	Допустимий час перебування в зоні впливу ЕМП	Примітка
До 0,1 0,1...1 1...10	Робочий день Не більше 2 год Не більше 10хв	В решті робочого часу не більше 0,1Вт/м ² За умови користування захисними окулярами. В решті робочого часу не більше 0,1 Вт/м ²

За напруженості 5 кВ/м час перебування в зоні опромінення не обмежується. Контроль електромагнітного випромінювання на робочих місцях проводиться згідно з ГОСТ 12.1.006 – 84 не рідше 1 разу на рік, а також при введенні в дію нових чи реконструйованих установок і при зміні умов праці.

Вимірювання проводять при максимальній потужності в зоні знаходження людей по висоті від рівня підлоги до 2 м через 0,5 м. З метою визначення характеру розповсюдження ЕМП, проводять заміри в точках пересічення координатної сітки з стороною 1м.

Сьогодні у світі немає однозначних норм з обмеження впливу ЕМП частотою 50 Гц. Під час опрацювання національних норм більшість країн використовують рекомендації провідних міжнародних організацій у цій сфері. Це, перш за все, IRPA, ICNIRP, CENELEC та ВООЗ. Продовжуються також роботи над Міжнародним проектом щодо захисту від наслідків впливу ЕМП, які мають привести до взаємопорозуміння у справі введення єдиних норм з обмеження впливу ЕМП для різних країн.

За результатами медико-біологічних досліджень установлено

гранично припустиму щільність струму в тілі, яку використовують для визначення граничних параметрів ЕМП, що підлягають контролю. На низьких частотах (нижче 1 МГц) такими параметрами є напруженості ЕП і МП. Зв'язок між граничним значенням характеристик ЕМП і гранично припустимою щільністю струму може розраховуватися за науково обґрунтованими формулами або встановлюватися експериментально (табл. 7.3).

Табл. 7.3 Щільністю наведеного в тілі струму

Щільність в тілі струму j , A/m^2	Біологічні ефекти впливу
1 – 10	Мінімальні ефекти, що не являють собою небезпеки*
10 – 100	Виражені ефекти: зорові й з боку нервової системи
100 – 1000	Стимуляція збудливих структур (м'язова й нервова) несприятливий вплив на здоров'я
>1000	Можлива екстрасистоляція, фібриляція серця (гостре ураження)

*Ефекти, що можуть бути компенсовані адаптаційними системами організму.

Вплив ЕМП на людину та його нормативне обмеження визначено стандартами Міжнародної електротехнічної комісії (ІЕС) в документах: ІЕС 62226-1 ed1.0 (2004-11) Частина 1, 2 та ІЕС 62226-3-1 ed1.0 (2007-05) Частина 3 – 1 та інших документах.

Базовим рівнем напруженості постійного МП прийняте значення 1,6 МА/м. Уперше нормовано струм, що протікає через людину при контакті з об'єктами, що перебувають в ЕП ПЧ: 3,5 мА – на робочих місцях і 1,5 мА – для населення.

Динамічний процес перегляду вже встановлених і розроблення нових норм щодо впливу ЕМП на людину в усьому світі викликано необхідністю об'єктивної оцінки реальної небезпеки для здоров'я людини. Такий підхід зумовлено, насамперед, економічними міркуваннями, тому що дотримання санітарних норм і забезпечення нормованої ширини санітарно-захисної зони для ПЛ пов'язано зі значними витратами. З іншого боку, спостерігається тенденція до збільшення жорсткості норм і введення більш високих коефіцієнтів гігієнічного запасу для

попередження можливих ризиків прояву маловивчених механізмів впливу ЕМП на людину, перш за все МП у пролонгованому періоді.

Більшість зарубіжних країн в частині нормування МП промислової частоти дотримуються рекомендацій, запропонованих міжнародними організаціями, що наведені у табл. 7.4.

Табл. 7.4 Нормована міжнародними організаціями напруженість магнітного поля промислової частоти

Організації	Напруженість МП, мкТл		Щільність струму, мА/м ²	Еквівалентне МП, мкТл
	Короткочасне	8 год/24 год		
ICNIRP Guidelines, 1998: персонал населення	5000	500	10	500
	1000	100	20	100
CENELEC: персонал населення	30	1600 640	10	1600
	-		4	640
Великобританія – NRPB	-	1600	10	1600
Німеччина – BFE	4240	1360	10	4240
			20	848
США	-	1000	10	710

Джерело: ICNIRP, CENELEC, NRPB, BFE, ACGIH

Уряді країн виходячи з рекомендацій «попереджувального принципу» було запропоновано більш жорсткі обмеження рівнів ЕП і МП ПЧ. Так, в Італії в провінції Венеція у 1998 р. відповідним регіональним законом в місцях проживання населення встановлено граничний рівень МП ПЧ – 0,2 мкТл при ЕП – 0,5 кВ/м. У 1999 р. у Швейцарії поряд з рекомендаціями ICNIRP було додатково прийнято більш жорсткі обмеження гранично допустимого рівня МП ПЧ у житлових будинках – 1 мкТл.

У США немає загальнонаціональних норм відносно допустимої напруженості МП з частотою 60 Гц, в ряді штатів введено обмеження залежно від розміру зони відчуження та напруги ПЛ. Зокрема, для штату Флорида обмеження залежно від напруги на краю полоси

відчуження становить: 12 А/м – для ПЛ 230 кВ; 16 А/м – для ПЛ 500 кВ; 20 А/м – для дволанцюгової ПЛ 500 кВ. У ряді інших штатів при проектуванні ПЛ враховуються вимоги щодо необхідності збільшення відстані від ПЛ до будинків шкіл та інших аналогічних закладів при визначенні санітарно-захисних зон. Швеції, США, Канаді, Франції, та Фінляндії прийнято вважати безпечним рівень впливу на людину низькочастотного МП з індукцією до 0,2 мкТл.

На основі рекомендацій міжнародних організацій та Євросоюзу у країнах-членах ЄС прийнято національні рівні допустимого випромінювання магнітного поля з урахуванням часового обмеження його дії (табл. 7.5).

Табл. 7.5. Національні рівні допустимого випромінювання магнітного поля з урахуванням часового обмеження його дії

Країна	Значення допустимого випромінювання магнітного поля H, А/м	Часове обмеження
Австрія	80 800	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі короткочасне
Австралія	8 0	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі короткочасне
Великобританія	80	Рекомендована величина
Нідерланди	0 , 3	Середнє значення протягом 1 року Згідно з урядовими рекомендаціями Згідно з контрольованою рекомендацією
Естонія	80	Перебування в полі без часового обмеження
Франція	80	Рекомендоване значення
Італія	8 0	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі короткочасне
Німеччина	8 0	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі протягом 2 годин на добу
Словенія	8	Місця масового перебування людей Інші території
Польща	60	Перебування в полі без часового обмеження
Фінляндія	4 0	Перебування в полі короткочасне Перебування в полі без часового обмеження
Чеська Республік	80	Величина, рекомендована ICNIRP
Швейцарія	0 ,	Місця масового перебування людей Інші території

Рекомендація	80	Перебування в полі без часових обмежень згідно з рекомендацією 1991/519/ЕС
--------------	----	--

Основною метою IRPA / ICNIRP, справжнього документа є розробка науково обґрунтованих посібників щодо обмеження впливу електромагнітних полів (ЕМП) на людину для забезпечення прийняттого рівня захисту здоров'я людини від відомих несприятливих ефектів. Несприятливі медичні ефекти викликають виявляється погіршення стану здоров'я людини, що знаходиться під впливом ЕМП, або здоров'я його нащадків. Біологічні ефекти можуть як привести, так і не привести до виникнення несприятливих ефектів для здоров'я.

В інструкціях розглядаються ефекти прямого і непрямого впливу ЕМП, тобто ефекти при безпосередній взаємодії полів з тілом людини і при контакті людини з об'єктом, що володіє іншим електричним потенціалом, відповідно. Обговорюються результати лабораторних та епідеміологічних досліджень, основні обмеження впливу і контрольовані рівні для практичної оцінки

Детальний опис інструментальних і розрахункових методів, використовуваних в дозиметрії НДІ, наводиться в ряді документів (NCRP 1981; IEEE 1992; NCRP 1993; DIN VDE 1995). У керівництві не розглядаються питання, пов'язані із захистом від ефектів інтерференції або впливу полів на медичні прилади, такі як, наприклад, металеві протези, електронні стимулятори і дефібрилятори серця, імплантовані слухові апарати. Електромагнітна інтерференція електрокардіостимулятора може спостерігатися на рівнях нижче контрольованих.

Директивою Європарламенту і Радою ЄС 2004/40 від 29 квітня 2004 р. введено мінімальні вимоги щодо безпеки й охорони здоров'я працівників за наявності ризиків від дії фізичних факторів ЕМП як зміни та доповнення до Директиви Ради 89/391/ЄЕС). Раніше Європарламент і Рада прийняли Директиву 2002/44/ЕС від 25 червня 2002 р. та Директиву 2003/10/ЄС від 6 лютого 2003 р. щодо захисту працівників від ризиків,

пов'язаних із шумом, вібрацією.

Директивою 2004/40 визначено мінімальні вимоги щодо рівня впливу ЕМП, що дає змогу країнам-членам підтримувати або приймати в національних документах необхідні положення щодо захисту працівників, затверджувати більш низькі значення робочих і гранично допустимих впливів ЕМП.

Для запобігання підвищеного впливу на серцево-судинну та нервову системи, недопущення теплового удару Директивою встановлено граничні значення ЕП і МП залежно від частот джерел і питомого поглинання енергії, табл. 7.5.

Табл. 7.5 Граничні значення ЕП і МП залежно від частот джерел і питомого поглинання енергії

Характер впливу	Частотний діапазон	Щільність струму для голови і тулуба (мА/м ²)	SAR, середнє значення для тіла людини (Вт/кг)	SAR, локальне значення (голова і тулуб) (Вт/кг)	SAR, локальне значення (кінцівки) (Вт/кг)
Вплив у виробничих умовах	До 1 Гц	40	-	-	-
	1-4 Гц	40/f	-	-	-
	4 Гц – 1 кГц	10	-	-	-
	1 – 100 кГц	f/100	-	-	-
	100 кГц – 10 мГц	f/100	-	-	-
	10 мГц – 10 ГГц	-	0,4	10	20
Вплив на населення	До 1 Гц	8	-	-	-
	1-4 Гц	8/f	-	-	-
	4 Гц – 1 кГц	2	-	-	-
	1 – 100 кГц	f/500	-	-	-
	100 кГц – 10 мГц	f/500	-	-	-
	10 мГц – 10 ГГц	-	0,08	2	4

Примітка: f – чистота в герцах. Джерело: Директива ЄС 2004/40

Директивами також встановлено порядок розрахунку щільності струму та швидкості поглинання енергії (SAR), а також визначено відповідні робочі значення напруженості електричного і магнітного поля та щільності потоку енергії (табл. 7.6.).

Табл. 7.6. Відповідні робочі значення напруженості електричного і магнітного поля та щільності потоку енергії

Часириний діапазон	Напруженість електричного поля, В/м	Напруженість магнітного поля, А/м	Магнітне поле, мкТл	Щільність потоку енергії, Вт/м ²
До 1 Гц	-	$1,63 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	-
1-8 Гц	20000	$1,63 \cdot 10^5/f$	$2 \cdot 10^5 f$	-
8-25 Гц	20000	$2 \cdot 10^4/f$	$2,5 \cdot 10^4/f$	-
0,025-0,82 кГц	500/f	20/f	25/f	-
0,82-65 кГц	610	24,4	30,7	-
0,065-1 МГц	610	1,6/f	2,0/f	-
1-10 МГц	610/f	1,6/f	2,0/f	-
10-400 МГц	61	0,16	0,2	10
400-2000 МГц	3f	0,008f	0,01f	f/40
	137	0,36	0,45	50

Примітки:

1. f приймає значення, вказані у колонці з діапазоном частот
2. Виміри значень напруженості електричного та магнітного полів можуть усереднювати залежно від діапазону частот рекомендації ICNIRP. Джерело: Директива ЄС 2004/40, рекомендації ICNIRP

Враховуючи що єдині принципи нормування безпечних рівнів ЕМП для персоналу та населення відсутні, у світовій енергетичній практиці продовжується робота з уніфікації підходів до нормування напруженості ЕП та МП ПЧ, а також допустимого часу їх впливу на персонал і населення.

Вчені Швеції ще в 1992 році дослідили здоров'я 500000 людей, що проживають в умовах магнітного поля промислової частоти і результати виявились невтішними. Статистика показала, що зростання магнітного поля від 0,1 мкТл до 4 мкТл в кілька разів підвищує ризик розвитку лейкемії у дітей. Взагалі там, де значення магнітного поля складає 0,3 мкТл і вище, онкологічні захворювання трапляються в два рази частіше.

На основі цих даних шведи в своїй країні ввели гігієнічний норматив низькочастотного магнітного поля величиною в 0,2 мкТл. Оскільки аналогічні результати одержані в США, Канаді, Франції, Данії і Фінляндії, то сьогодні в багатьох країнах світу прийнято вважати безпечним рівнем низькочастотного магнітного поля саме цю величину 0,2 мкТл.

Прийнято, що напруженість змінного електричного поля 50 Гц не повинна перевищувати 500 В/м в місцях довготривалого чи постійного

перебування людини. Магнітні поля для населення України в даний час не нормуються, або вірніше не контролюються.

Міжнародні стандарти (введені в Швеції, США та ряді інших країн) такі, що в місцях довготривалого перебування людей, особливо в місцях нічного відпочинку чи перебування дітей, напруженість магнітного поля частотою 50 Гц не повинна перевищувати 0,2 мкТл.

На жаль, в даний час немає однозначних наукових пояснень механізму дії ЕМП на людину, на їх взаємодію з біополем людини.

Дослідження впливу електромагнітного поля на біологічні об'єкти показали, що організм людини, який складається із набору молекул, комплексів білків і води у вигляді різних органів і систем, випромінює та приймає ЕМ випромінювання в широкому діапазоні частот.

Висока ефективна дія слабих (за інтенсивністю) ЕМ випромінювань, пояснюється їх резонансною дією, яка може підсилювати або послаблювати функціональні можливості окремих органів.

Вважається, що найбільш небезпечними для організму людини є частоти до 1000 Гц, оскільки вони співпадають з частотами енергетичних центрів людини. Визначені частоти поля окремих органів чи систем. Так для серця це від 700 Гц до 800 Гц із збільшенням при стенокардії до 1500 Гц, для нирок — від 600 Гц до 700 Гц із збільшенням при запаленні до 900 Гц, для печінки від 300 до 400 Гц із збільшенням при запаленні до 600 Гц. При онкологічних захворюваннях частота змінюється в бік низьких частот. Небезпечними є частоти від 3 Гц до 50 Гц які співпадають із частотним ритмом головного мозку.

8. ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ ПОЛІВ

Для вимірювань напруженості ЕМП використовують прилади: ИЭП-04, ИЭП-05 (для вимірювання E за частоти 50 Гц); П 3-15, П 3-16, П 3-17 (для вимірювання E і H за частоти від 10 кГц до 300 МГц); – П 3-41 (для

вимірювання густини потоку енергії за частоти від 300 МГц до 37,5 ГГц).

ИЭП-04 – вимірювач напруженості електричної складової змінного електричного поля, входить в комплект вимірювачів електричних і магнітних полів "Циклон-04" (рис.19) призначений для сертифікаційних випробувань комп'ютерної і офісної техніки.

Вимірювач оснащений дисковою антеною для контролю випромінювань комп'ютерної техніки, а також дипольною антеною для контролю електричних випромінювань від будь-яких інших технічних засобів і в навколишньому середовищі.



Рис. 19. Комплект вимірювачів електричних та магнітних полів "Циклон-04"

Вимірювач ПЗ-41 (рис. 20) призначений для виявлення і контролю біологічно небезпечних рівнів електромагнітних випромінювань, напруженості



Рис. 20. Вимірювач ПЗ-41

Для вимірювань електричних і магнітних полів використовуються прилади ИСП-01, ИЭП-05, ИМП-05/2, ИМП-05/1, EMF510, Extech EMF450 (рис. 21) та ін.



Рис. 21. EMF510: Вимірювач EMF/ELF

Extech EMF510 вимірює енергію електромагнітних полів (ЕМП) та електричних сигналів і чутливий до рівня низького рівня частоти (СНЧ). Вбудований одноосьовий датчик ідеально підходить для ліній електропередач, електроприладів, вентиляторів та нагнітачів, а також електричних кіл у двох діапазонах. EMF510 відрізняється великим РК-дисплеєм з підсвічуванням для перегляду в погано освітлених місцях, компактним ергономічним дизайном з ремінцем на зап'ясті, автоматичним відключенням живлення і функцією мінімального / максимального значення.

Особливості Extech EMF510:

- виміряє рівні EMF / ELF у міліГаус (мГ) або мікроТесла (мкТ) до 2000мГ (200мкТ) з двома діапазонами на вибір;
- вбудований одновісний датчик забезпечує основну точність зчитування $\pm 5\%$;

- пропускна здатність від 30 до 300 Гц;
- дисплей з підсвічуванням для перегляду в слабо освітлених місцях;
- функції утримування даних та функцій Min/Max;
- автоматичне вимкнення живлення з відключенням;
- кріплення штатива (опціонально штатив TR100 продається окремо);
- у комплекті з ремінцем на зап'ясті та 3 батареями ААА.

Специфікація Extech EMF510

Параметр	Значення	Максимальне розрізнення	Базова точність
Діапазон / Розрізнення	200,0 / 2000мГ	0,1 / 1мГ	± (5% + 3 цифри) при 50 / 60Гц
	20,00 / 200,0 мкТ	0,01 / 0,1 мкТ	± (5% + 3 цифри) при 50 / 60Гц
Пропускна здатність	Від 30 до 300 Гц		
Кількість осей	Одинарна вісь		
Розміри	4,2 x 2,3 x 1 "(107 x 58 x 25 мм)		
Вага	5,6 унція (160 г)		



Рис.22. Extech EMF450.

Багатопольовий вимірювач електромагнітного поля

Extech EMF450 – це зручний ЕМП-вимірювач 3 в 1, який одночасно вимірює та відображає магнітне поле, електричне поле та радіочастоту.

Ергономічна конструкція кишенькового розміру з простим у навігації меню. Великий яскравий кольоровий TFT-дисплей показує цифрові показання, графіки та графік тренду. Вимірювання сили магнітного поля, електричного поля та радіочастоти. Зберігає до 20 записів. Утримання даних та автоматичне вимкнення живлення за допомогою функції відключення. У комплекті 3 батареї AAA та кабель живлення USB.

Особливості Extech EMF450:

- багатополеві вимірювання: магнітне поле, електричне поле та радіочастота (РЧ);
- датчик потрійної осі магнітного поля (X, Y, Z);
- звуковий сигнал тривоги;
- 2,4-дюймовий (240 x 320 пікселів) кольоровий TFT-дисплей;
- регульована яскравість екрана (низька, середня, висока);
- зберігає до 20 аписів історії вимірювань;
- утримання даних та автоматичне вимкнення живлення за допомогою функції відключення;
- п'ять мов: англійська, традиційна / спрощена китайська, японська, іспанська;
- у комплекті 3 батареї AAA та кабель живлення USB.

Специфікація Extech EMF450

Параметр	Значення	Максимальне розрізнення	Базова точність
Магнітні поля (50/60 Гц)	20/200 / 2000мГ	0,02 / 0,1 / 1мГ	± (15% + 100 цифр)
	2/20 / 200μТ	0,02 / 0,1 / 1 мкТ	
Електричні поля (50/60 Гц)	Від 50В / м до 2000В / м		± (7% + 50 дг)
Напруга поля (від 50 МГц до 3,5 ГГц)	Від 0,02уВт / м ² до 554,6мВт / м ²		0,02 мкВт / м ²
	Від 0,02uW / cm ² до 55,4uW / cm ²		0,002μW / cm ²
	36,1мВ / м до 14,46 В / м		0,2мВ / м
	0,02 мА / м до 38,35 мА / м	0,2μА / м	
	Від 51 дБ до 16 дБм	2 дБ	± 2dB на 2,45 ГГц

Параметр	Значення	Максимальне розрізнення	Базова точність
Розміри / вага	4,5 x 2,4 x 0,8 “(115 x 60 x 21 мм) / 4,2 унції (120 г)		
Гістограма	Магнітні поля	Сила РФ	Електричне поле
Зелений	0 до 10,00мГ	0 до 0,99 мВт / м ²	0 до 500В / м
		0 до 0,59 В / м	
Жовтий	10,01 до 100 мГ	Від 1 до 9,99 мВт / м ²	501 до 1000В / м
		0,6 – 1,9 В / м	
Червоний	101-2000мГ	> 10 мВт / м ²	> 1001В / м
		> 2В / м	

Основними методами захисту від ЕМП є: захист часом; захист відстанню; екранування джерел випромінювання; екранування робочих місць; зменшення випромінювання в самому джерелі випромінювання; засоби індивідуального захисту; організаційні методи захисту. Існують інші вимірювачі.

Електричні поля створюються електричними зарядами, тоді як магнітні поля породжуються рухомими електричними зарядами (електричними струмами). Електричне поле, E , діє на електричний заряд з деякою силою. Подібним чином, магнітне поле діє на рухомі електричні заряди.

Електричні і магнітні поля характеризуються величиною і напрямком (тобто є векторами). Одиницею напруженості електричного поля є вольт на метр ($V\ m^{-1}$). Магнітне поле можна охарактеризувати двома способами: через щільність магнітного потоку, B , або через напруженість магнітного поля, H . Одиницею щільності магнітного потоку є тесла (Тл), а напруженості магнітного поля - ампер на метр ($A\ m^{-1}$).

Ці дві величини пов'язані наступним співвідношенням: $B = \mu H$, (1) де μ - коефіцієнт пропорційності (магнітна проникність); для вакууму, повітря і немагнітних матеріалів (включаючи біологічні)

значення μ одно $4\pi \cdot 10^{-7}$ Генрі на метр (Гн м⁻¹). Таким чином, при описі магнітного поля необхідно вказати один з параметрів: В або Н. (Настанови ICNIRP 4 по обмеженню впливу змінюються в часі електричних, магнітних і електромагнітних полів).

У ближній зоні ситуація складніша, оскільки максимальне і мінімальне значення амплітуд Е і Н не досягається в одних і тих же точках вздовж напрямку поширення електромагнітної хвилі як в далекій зоні. У ближній зоні електромагнітне поле може бути сильно неоднорідним, можуть спостерігатися істотні відхилення в значенні відносини Е / Н від значення хвильового опору 377 Ом, характерного для плоскої хвилі [15].

Таким чином, в одних областях може спостерігатися практично тільки електричне поле, а в інших - тільки магнітне. Кількісна оцінка впливу в ближній зоні ускладнена тим, що необхідно виміряти і електричне та магнітне поле. У цій ситуації щільність потоку енергії не може служити підходящою фізичною величиною для обмежень впливу (як в далекій зоні) Вплив змінних ЕМП призводить до індукції електричних струмів в тілі людини і поглинання енергії в тканинах, які залежать від механізмів взаємодії і частоти поля. Напруженість внутрішнього електричного поля і щільність електричного струму пов'язані між собою законом Ома: $J = \sigma E$, (3) де σ - електрична провідність середовища.

Слід зазначити, що максимально припустимі значення напруженостей ЕП та МП, а також щільності наведеного струму та часу їх дії у стандартах, рекомендаціях та нормативах окремі міжнародні та національні організації приймають для різних ділянок тіла: ICNIRP – для голови й тулуба, CENELEC – для голови й області серця, ACGIH – для всього тіла тощо

Напруженість електричного поля - векторна фізична величина (Е), яка є основною кількісною характеристикою електричного поля, що виражається відношенням сили, що діє з боку поля на електричний заряд, до величини заряду (рис. 23-26), вимірюється у вольтах на метр (В/м).

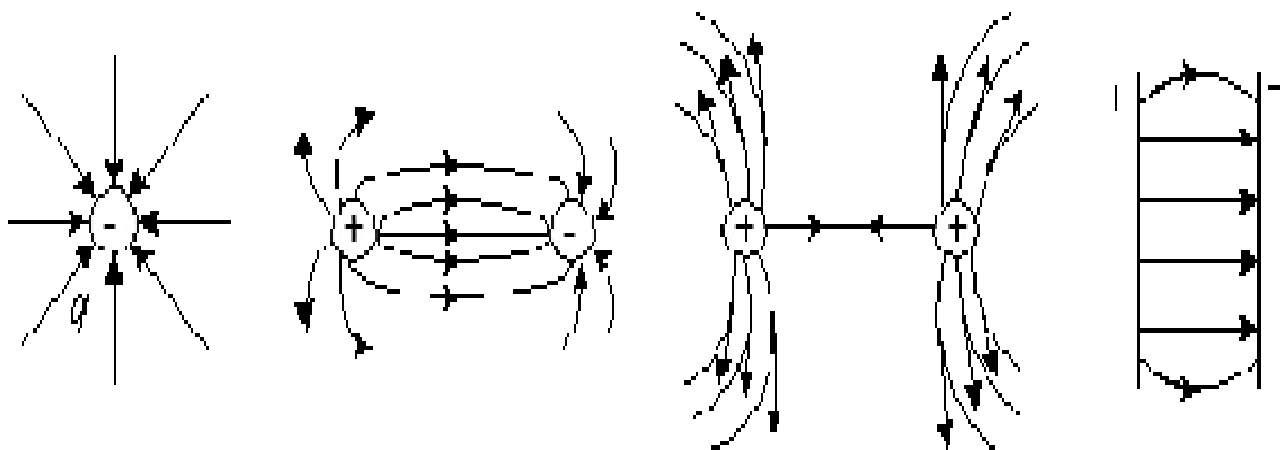


Рис. 23. Силлові лінії електричного поля

Силлові лінії електричного поля точкових зарядів незамкнені. Вони починаються на позитивних електричних зарядах і закінчуються на негативних (рис. 23). Віддалік від країв пластин силлові лінії паралельні: електричне поле однакове у всіх точках. Електричне поле, напруженість якого однакова у всіх точках простору, називають однорідним.

Вектор напруженості E – це силова характеристика електричного поля. В деякій точці поля, напруженість дорівнює силі, з якою поле діє на одиничний позитивний заряд, розміщений в зазначеній точці, при цьому напрямки сили і напруженості збігаються. Математичне визначення напруженості записується так:

$$\vec{E} = \int d\vec{E} \quad (18)$$

де \vec{F} – з якої електричне поле діє на нерухомий, «пробний», точковий заряд q , який розміщують в даній точці поля. При цьому вважають, що «пробний» заряд малий на стільки, що не спотворює досліджуваного поля.

Якщо поле є електростатичним, то його напруженість від часу не залежить. Якщо електричне поле є однорідним, то його напруженість у всіх точках поля однакова.

Графічно електричні поля можна зображувати за допомогою силових ліній. Силловими лініями (лініями напруженості) називають лінії, дотичні до

яких в кожній точці збігаються з напрямом вектора напруженості в цій точці поля.

Якщо поле створено декількома електричними полями, то напруженість результуючого поля дорівнює векторній сумі напруженостей окремих полів:

$$\vec{E} = \sum^n \vec{E}_i, \quad (19)$$

Припустимо, що поле створюється системою точкових зарядів і їх розподіл безперервно, тоді результуюча напруженість знаходиться як:

$$\vec{E} = \int d\vec{E} \quad (20)$$

інтегрування у виразі (3) проводять по всій області розподілу заряду.

Напруженість поля точкового заряду дорівнює:

$$\vec{E} = \frac{1 \cdot q_r^-}{4\pi \epsilon \epsilon_0^3} \cdot \quad (21)$$

де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12}$ ф/м (система СІ) – електрична постійна.

Основною одиницею виміру напруженості електричного поля в системі СІ є: $[E]=\text{В/м(Н/Кл)}$. Напруженість магнітного поля - векторна фізична величина (Н), яка є кількісною характеристикою магнітного поля, виражає силу, з якою поле діє на одиницю довжини прямолінійного провідника, із силою струму в одну одиницю, розміщеного перпендикулярно до напрямку магнітних силових ліній, вимірюється в амперах на метр (А/м), рис. 24.

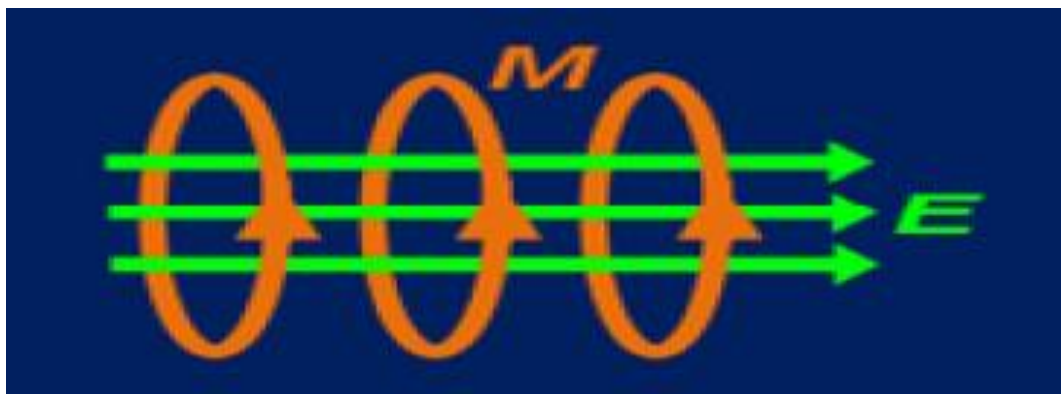


Рис. 24. Векторні магнітні силові лінії електричного поля: E - вектор магнітної індукції; M – вектор намагнічуваності

Магнітна постійна (μ) - фізична константа, скалярна величина, що входить у вирази деяких законів електромагнетизму в вигляді коефіцієнта пропорційності при запису їх у формі, що відповідає Міжнародній системі одиниць (СІ). У матеріальних рівняннях, в вакуумі, через магнітну проникність пов'язані вектор напруженості магнітного поля H і вектор магнітної індукції B :

$$H = B - 4\pi M \quad (22)$$

де:

B – магнітна індукція;

H – напруженість магнітного поля (А/м)

M в системі СГС:

$$H = B - 4\pi M \quad (23)$$

Напруженість магнітного поля (H) вимірюється в ерстедах (Е), в системі СІ в амперах на метр (А/м): $1 \text{ Е} = 1000/(4\pi) \text{ А/м} \approx 79,5775 \text{ А/м}$; $1 \text{ А/м} = 4\pi/1000 \text{ Э} \approx 0,01256637 \text{ Э}$.

Сучасний електромобіль - конструкція з полегшеної ходовою частиною і кузовом, особливою трансмісією і зручним для зміни акумуляторної батареї. Струм від акумуляторної батареї підходить до двигуна через систему тиристорних блоків управління. При використанні двигуна змінного струму в систему включають перетворювач. Електродвигун встановлюється або спереду або ззаду електромобіля [58].

Природа ЕМП в електромобілі є значно складнішою, ніж в автомобілі, оснащеному двигуном внутрішнього згорання. У електромобілі ЕМП з високою щільністю енергії мають шкідливий вплив безпосередньо на організм людини.

Вивчення впливу електричних и магнітних полів (ЕМП) на організм людини включає в себе точну оцінку впливу цих полів и того, что організм отримує в результаті впливу. Вплив є мірою напруженості електричного або магнітного поля безпосередньо поза організмом в течение певного періоду.

Доза - це міра індукованої напруженості поля в організмі за певний період. Практика вимірювань напруг електромагнітного поля в салонах електро та гібридного транспорту Швейцарії (FORH) показала, що діапазон магнітних полів в гібридній машині виявився рівним від 0,03 мкТл до 2,4 мкТл. Низькі частоти магнітних полів (від 5 Гц до 2 кГц) у всіх чотирьох сидіннях семи стаціонарних автомобілів визначалися при працюючому двигуні і кондиціонері. Усереднені по тілу магнітні поля становили від 0,03 до 4 мкТл. На лівому задньому сидінні було виміряно максимальне магнітне поле 14 мкТл на рівні стопи.

Оскільки низькочастотні магнітні поля створюються при обертанні магнітних шин, вимірювання проводилися на автомобілях, що рухаються зі швидкістю 80 км / год. Магнітні поля були виміряні на частотах від 5 Гц до 2 кГц в 12 різних автомобілях. Більш високі значення були виміряні в області ніг пасажирського сидіння і на задньому сидінні. У 33% автомобілів були виміряні значення вище 2 мкТл; в 25% автомобілів значення були вище 6 мкТл. Основна частота магнітних полів становить від 10 Гц до 12 Гц при швидкості 80 км / год.

При різних положеннях електромобілки, в умовах прискорення і руху з постійною швидкістю 40 км / год, їх результати показали, що значення ELF MF в електромобілях істотно не зміняться через тривале водіння або регулярного технічного обслуговування. Проте, капітальний ремонт може змінити як спектр, так і амплітуду результатів МП НЧ. У дослідженні наголошено на необхідності оцінки впливу ЕМП НЧ протягом всієї тривалості життя електромобілів.

Всі три електромобіля проходили регулярне техобслуговування кожні 5000-6000 км протягом періоду вимірювань. Це регулярне технічне обслуговування включало в себе оцінку електрифікованої системи, освітлення і шин. EV були заправлені гальмівною рідиною, охолоджувальною рідиною і трансмісійним маслом для сповільнювача. Слід зазначити, що чотири шини і маточини були замінені на EV2 в кінці 2018

року. EV3 піддався капітального ремонту відразу ж після зіткнення ззаду в кінці 2017 року, а його збірки головного і заднього світла були змінені в 2019 році.

Проведено вимірювання, результати як в широкосмуговій, так і в частотній областях. Вимірювальна система складалася з двох вимірювачів ELF MF (SEM-600, Safetytech, Пекін, Китай), які були підключені до двох зондам ELF MF (LF-01, Safetytech, Пекін, Китай) за допомогою оптичних кабелів. Частотний діапазон зонда становив від 1 кГц до 100 кГц, а його динамічний діапазон - від 0,01 нТ до 10 мТл. Всі прилади знаходилися в межах допустимих періодів калібрування під час вимірювань. Вимірювальна система відповідала вимогам стандартів EN 50492-2009 [15] і ICNIRP. Під час вимірювання датчики перебували в нерухомому стані, коли автомобіль рухався. Для контролю швидкості прискорення використовували датчик прискорення (LIS3LV02DL, STMicroelectronics, Женева, Швейцарія). Зонди ELF MF були зафіксовані в центрі передньої і задньої пасажирських подушок за допомогою пінопласту. В збільшується зі зменшенням відстані від EV до землі [13]. Конфігурація вимірювання показана на рис.25.



(a)



(b)

Рис. 25. Розташування зондів магнітного поля (СЧ) з надзвичайно низькою частотою (ELF) на правому передньому (a) і задньому (b) сидіннях

Всі вимірювання проводилися в двох положеннях (переднє і заднє сидіння), показаних на рис. 8.7. Вимірювання в кожній позиції тривали протягом 30 с, включаючи два режими руху, 10 з прискорення зі швидкістю 2,2 м с⁻² (від 0 км/ч до 40 км/ч) і 20 з водіння зі швидкістю 40 км / с. h (з допустимим відхиленням до $\pm 15\%$). У кожен момент часу кожне EV вимірювалося в цілому десять разів в режимах ширококутового і частотної областей відповідно. Під час ширококутових вимірювань прилад взяв зразки з трьох взаємно ортогональних чутливих котушок і повідомив про компонентах вектора \mathbf{V} і загальних значеннях V . Налаштували час вибірки для ширококутового лічильника рівним 1с. Вимірювання в частотній області повідомило про спектральних компонентах (SC) компонентів \mathbf{V} за 1 с.

У більшості доступних досліджень повідомлялося про спектр EV нижче 2 кГц. Аналогічні результати були отримані в попередньому вимірі [15-16]. У цьому дослідженні зосередилися на цій смузі частот (як для ширококутового, так і для вимірювань в частотній області).

Експерименти проводилися на Shuguang West Road в районі Chaoyang, Пекін. Протяжність дороги для іспиту з водіння становила 1,5 км (рис. 26), а висота варіювалася в межах 5 м.

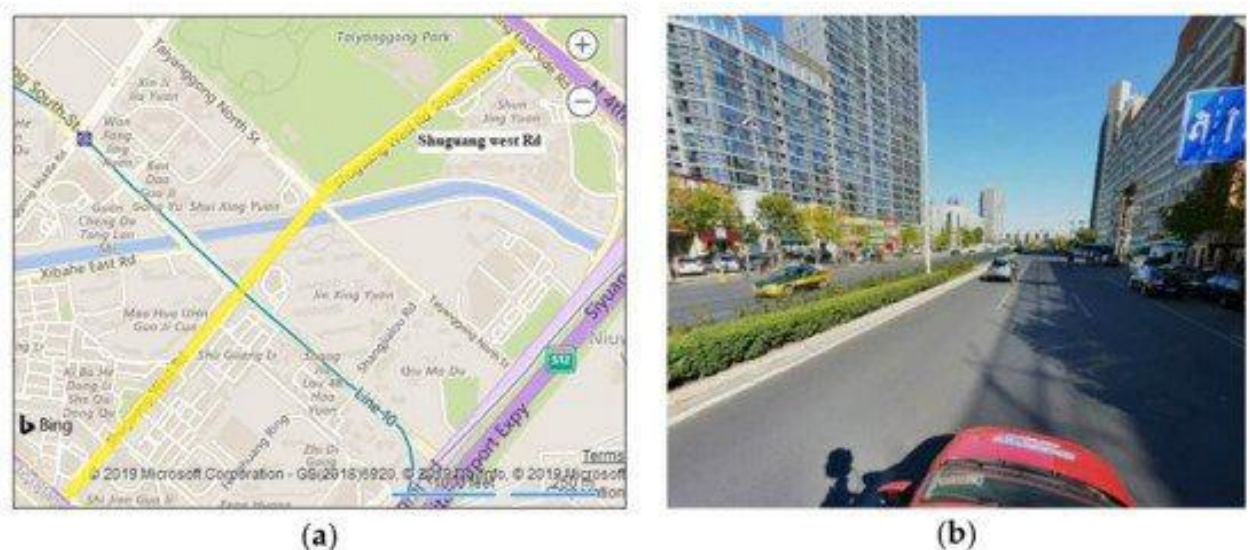


Рис. 26. Середя тестування водіння:
(а) - карта його розташування в Пекіні, (б) зображення дороги

Дорога була прямою, з відносно невеликим автомобільним потоком (0,1-0,4 транспортних засобів, що проходять в секунду під час експериментів). Виміри проводилися три рази 1 серпня 2017 року, 4 серпня 2018 року і 25 липня 2019 року. Температура під час вимірювань коливалася від 32-36 ° С, а вологість була від 30% до 60%. Уздовж дороги не було високовольтних ліній електропередач. Середня напруженість фоновому поля становила 0,03 мкТл (широкосмугове значення: 1-2 кГц), а пікове значення було менше 0,1 мкТл.

Мета статистичного дослідження полягала в тому, щоб визначити, змінюють чи довготривале водіння або ремонт MF ELF в електромобілях. Для цього порівняли загальну силу В і його SC.

Значення В вимірювалися за 1 с і усереднювалися для отримання результатів для кожного сценарію протягом 10 випробувань вимірювань в трьох різних часових точках. Результати були використані для наступного статистичного аналізу. Проведено два дисперсійних аналізу (ANOVA), щоб оцінити різницю в значеннях В через різних факторів.

У перших двосторонніх повторних вимірах ANOVA розглядалися два рівня положення сидіння (переднє сидіння і заднє сидіння) як фактори, а також виміряні результати В (три рівня: результати за 2017, 2018 і 2019 роки).

У другому двосторонньому повторному вимірі ANOVA розглядалися два сценарії водіння (прискорення і рух на постійній швидкості) в якості факторів, а також виміряні результати В (три рівня: результати за 2017, 2018 і 2019 роки). Поправка Бонферроні була застосована для мінімізації ймовірності помилки типу I. У дослідженні використовувалася версія 21.0 програмного пакету SPSS (IBM, Endicott, NY, USA). Статистичний аналіз проводився для кожного транспортного засобу.

Проаналізовано спектральні компоненти. Вимірювач поля повідомив про спектральних компонентах за 1 с, і були обрані перші три основних КА.

Як наслідок, середні значення SC для кожного вимірювання можна розрахувати для сегментів тривалістю 1 с. EV, використані в дослідженні, були позначені EV1-EV3, щоб захистити комерційний інтерес виробників.

Статистичний аналіз для ширококутових значень показав, що не було виявлено існування взаємодії між становищем сидіння і результатами вимірювання В для будь-якого з трьох автомобілів (EV1: $F = 0,078$, $p = 0,925$; EV2: $F = 0,034$, $p = 0,967$; і EV3: $F = 0,060$, $p = 0,942$). Результати вимірювань передніх і задніх сидінь не виявили відмінностей між обстежені транспортними засобами (EV1: $F = 0,235$, $p = 0,629$; EV2: $F = 0,005$, $p = 0,944$; і EV3: $F = 0,014$, $p = 0,907$). Спостерігалися істотні відмінності між результатами вимірювань В для EV2 ($F = 0,129$, $p = 0,006$) і EV3 ($F = 17,76$, $p < 0,001$), але не EV1 ($F = 0,129$, $p = 0,879$). Виявивши цю різницю, проведені кілька порівнянь. Виміряні значення В для EV2 від 2017 року, значно відрізнялися від результатів 2019 роки ($p = 0,009$ щодо поправки Бонферроні) і 2018 роки ($p = 0,03$ по поправці Бонферроні). EV3 також показав суттєву різницю між результатами В в різні моменти часу вимірювання ($p < 0,016$ від поправки Бонферроні). Ці результати показують, що виміряна сила В значно змінювалася щороку.

Інші двосторонні повторні вимірювання ANOVA (сценарій водіння \times значення В) виявили значні відмінності у взаємодії між трьома транспортними засобами (EV1: $p = 0,003$; EV2: $p = 0,001$ і EV3: $p = 0,001$).

Серед двох факторів прискорення значно відрізнялося від руху з постійною швидкістю (EV1: $F = 4643$, $p < 0,001$; EV2: $F = 3200$, $p < 0,001$ і EV3: $F =$ тисячі триста тридцять одна, $p < 0,001$), що було підтверджено попередні звіти, тому що прискорення вимагає більшої сили тяги і високого струму, що пов'язано з більшою силою В. Той же ефект був виявлений щодо виміряної сили В. EV1 не мав суттєвої різниці в річних результатах. Для EV2 результати за значенням В за 2019 р явно відрізнялися від результатів за 2018 г. ($p = 0,001$ від корекції Бонферроні) та 2017 років г. ($p = 0,001$ від корекції Бонферроні), тоді як результати цих двох років були аналогічними ($p = 0,06$

від Бонферроні). корекція). Для EV3 були виявлені істотні відмінності між результатами будь-яких двох років ($p < 0,001$ від корекції Бонферроні).

Спектральні результати були проаналізовані. Перші три основних спектральних компонента (SC, три частотних компонента, які мають найбільшу амплітуду, були розсортовані по амплітуді) для результатів вимірювань представлені на рис. 27 (прискорення; рух з постійною швидкістю).

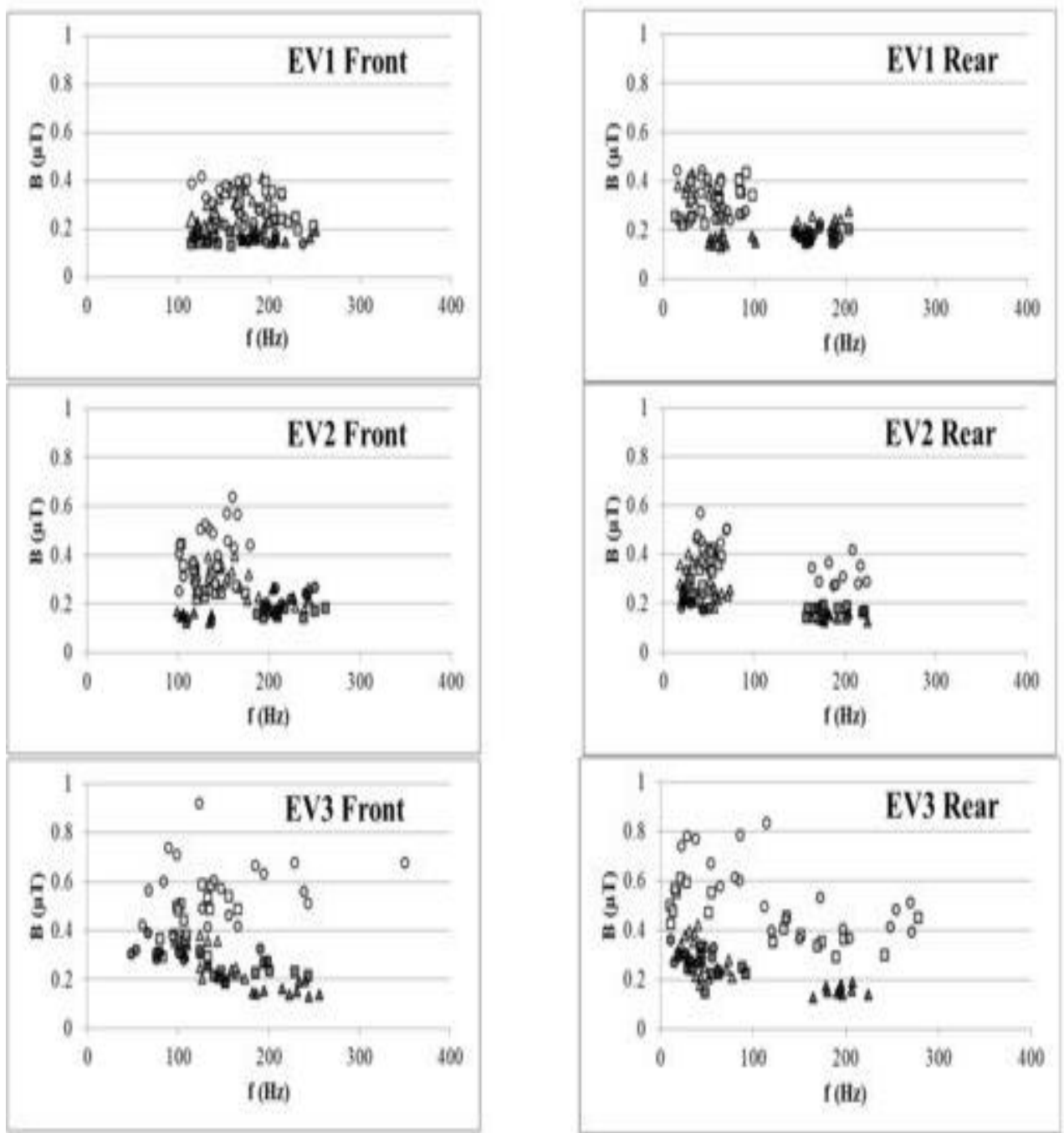


Рис. 27. Виміряні спектральні складові (СК) від сеансів прискорення на задніх і передніх сидіннях

Знаки в підпису складаються з чотирьох цифр, які представляють рік вимірювання, і трьох цифр, які представляють конкретний SC, наприклад, 2019SC3, який вказує третій за величиною спектральний компонент з вимірювання в 2019 році (рис. 28).

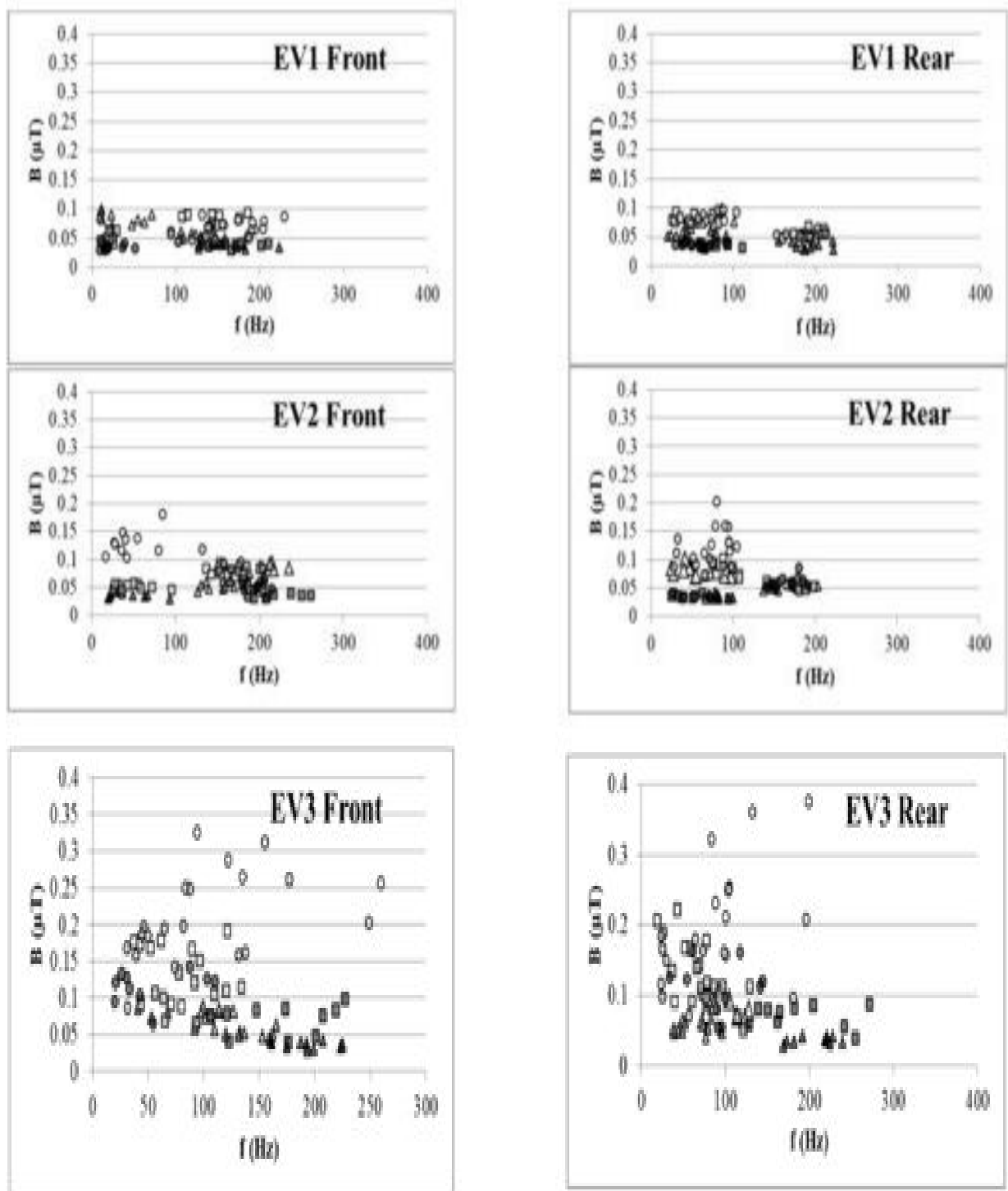


Рис. 28. Виміряні КА з режимів постійного руху в задніх і передніх комплектах

Знаки в підпису складаються з чотирьох цифр, які представляють рік вимірювання, і трьох цифр, які представляють конкретний SC, наприклад, 2019SC3, який вказує третій за величиною спектральний компонент з вимірювання в 2019 році.

Волатильність частоти SC, показана на фігурах, може бути пов'язана з похибкою вимірювання та суттєвою модифікацією спектра під час роботи електрифікованих систем. Для EV3 різниця між основними SC була більше, ніж діапазон для EV1. Була схожа тенденція між останнім виміром EV2 і його попередніми результатами. Для EV1 різниця між SC протягом двох років була досить невеликою. Максимальний розкид В для EV3, який піддався капітального ремонту та заміни компонентів, склав до 0,54 мкТл в режимі прискорення (різниця між 2019SC1 і 2017SC1 для положення переднього сидіння), тоді як максимальний розкид для EV1, який проходив тільки регулярне технічне обслуговування, було приблизно 0,02 мкТл (різниця між 2019SC1 і 2017SC1 для положення переднього сидіння). У EV2, у якого були змінені концентратори, були відмінності між EV1 і EV3.

Результати для режиму постійного водіння показали той же ефект. Загалом, результати в частотній області були узгоджені.

ELF MF був проведений за допомогою трансмісії EV, яка корелювала з фактичною вихідною потужністю. Отже, потужність, вага, прискорення і швидкість можуть впливати на міцність В в салоні. Виміряні результати, як правило, потрапляли в діапазон близько кількох десятих мкТл, що узгоджується з попередніми дослідженнями, вимірюваними в аналогічних умовах. Результати вимірювань були підтвержені. Попередні дослідження були присвячені оцінці розподілу магнітного поля в кабіні електромобілів і спектральному аналізу. Сеанс прискорення / уповільнення зазвичай включає більш високі значення MF ELF. Вимірювання проводились з помірною швидкістю прискорення ($2,2 \text{ м/с}^2$) і рухом з постійною швидкістю.

Аналіз виявив значно вищі значення В для сценарію прискорення, які корелювали з попередніми звітами - для досягнення підвищеного прискорення електромобілів потрібно вихідна потужність, а більший струм призводить до більш високих значень МП ELF. Повторні вимірювання, проведені протягом 2 років, підтвердили результати навіть при наявності електромобілів, що відрізняються від попередніх звітів.

Заміна шин може поміняти MF в салоні. Як механізм використовувалася намагніченість дроту при її обертанні в земній МП. Хоча втулки випробуваного транспортного засобу були виготовлені з матеріалу з низькою магнітною проникністю (алюмінієвий сплав), сталевий дріт в підсилюючих ремнях шин уловлювала MF з наземного MF при обертанні шин.

Генерируемая ЧРЧ ELF зазвичай була нижчою 20 Гц, але, можливо, перевищувала 2,0 мкТл на рівні сидіння в пасажирському салоні. Чи не навмисно розмагнічувати намагнічені шини перед поїздкою, щоб зберегти реалістичний сценарій впливу на пасажирів. Це може пояснити результати EV2.

В експериментах оцінювали дані трьох транспортних засобів. Важко відстежити більше транспортних засобів через високу мобільності загальних автомобілів. Вимірювання не проводилися на лівому сидінні, тому що ліве переднє сидіння було зайнято водієм, а ліве заднє сидіння було зайнято польовим вимірником і датчиком прискорення. Напруженість поля, виміряна в лівому положенні, може варіюватися, але мета дослідження полягала в тому, щоб оцінити тенденцію зміни MF при тривалому використанні. Було виявлено, що капітальний ремонт і заміна компонентів можуть змінити поле в салоні. MF був змінений у всій кабіні, і тенденція не буде змінюватися зі зміною положення. Вимірювання проводилися на міській дорозі. Сила MF навколишнього середовища контролювалася. Крім того, дорога була досить прямий, з невеликим рухом.

9. ЕМВ ЕЛЕКТРО/ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ

Проведення вимірювань приладом VEGA-12 М напруженість електромагнітних та електричних полів гібридного автомобіля в кількох точках, за якими визначили негативні явища електромагнітних випромінювань гібридного автомобіля (рис. 29 - 30).



Рис. 29. Вимірювання напруженості ЕМП у середині автомобіля (праве переднє сидіння пасажирів)

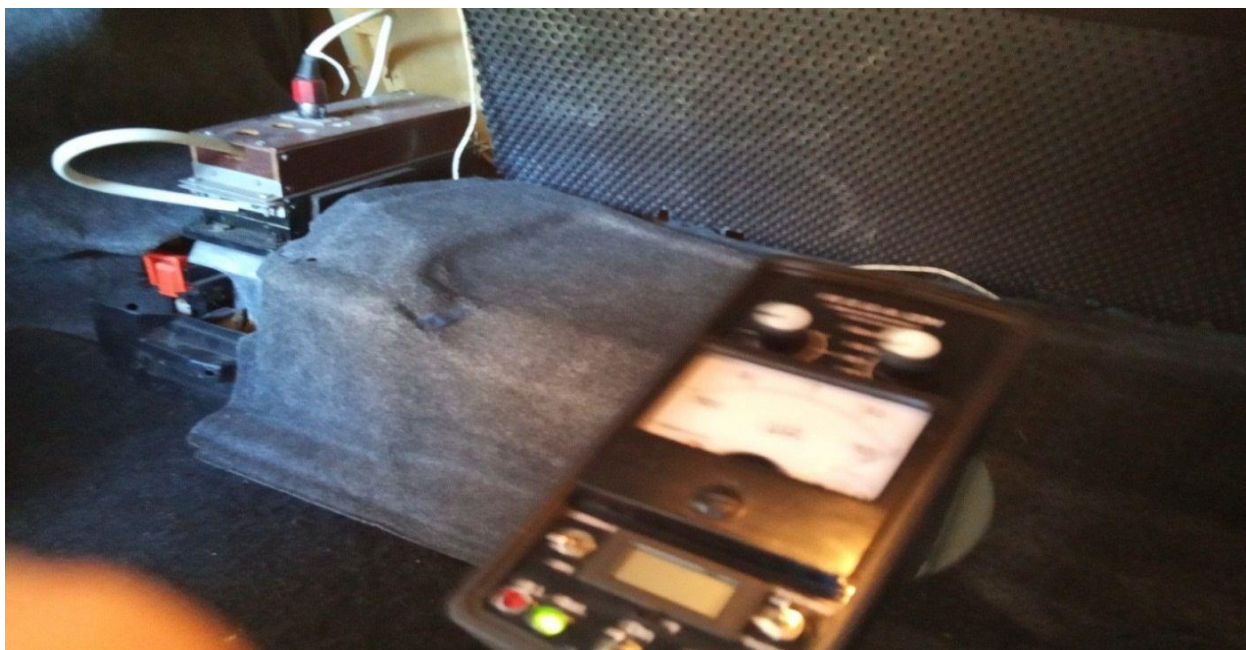


Рис. 30. Вимірювання напруженості ЕМП у середині автомобіля (заднє сидіння пасажирів)

Табл. 9.1. Результати вимірів магнітних і електромагнітних полів всередині салону гібридного автомобіля

Місце вимірів	Заміри магнітного поля (А / м) *	Заміри електромагнітного поля (В/ м)	Примітка: (+ -) едін. по норм. докум.	Граничні значення рівнів (ПДУ) за 8 годин
двигун	0,27	0,75		Мп 5А/м
аккумулятор	0,02	9,45		Еп 50 В/м
пасажир-месце	0,565	15,4		

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

Як показали результати експерименту найбільші ЕМП спостерігаються в кабіні автомобіля де розташований пасажир та на задньому лівому сидінні де знаходиться (у піддоні) тягова АКБ.

Світові виробники електричного автомобілебудування зіткнулися з серйозною проблемою забезпечення електромагнітної безпечності користувачів електричного автомобільного транспорту. Існує заклопотаність населення і засобів масової інформації з приводу можливих ризиків для здоров'я і безпеки руху через вплив електромагнітних полів (ЕМП), які будуть генеруватися в електричному автотранспорті сильними струмами, поточними в електропроводах і кабелях. Ці прагнення підкріплюється численними роботами, що свідчать про те, що ЕМП промислової частоти (50-60 Гц) можуть становити загрозу здоров'ю, зокрема можуть провоціровать канцерогенні захворювання, пухлини мозку, різні неврологічні порушення, депресії.

Крім того, магнітні поля (МП) наднизької частоти засповільнює реакцію людини, що може представляти серйозну загрозу безпеці руху, якщо такі явища спостерігаються у водіїв. При цьому слід врахувати два «обтяжуючих обставини»: по-перше, водії і пасажир електромобіля будуть перебувати в безпосередній близькості до джерел МП, і, по-друге, вони будуть піддаватися експозиції полів протягом тривалого часу. Ми користь-емя феном, електробритвою або мікрохвильовою піччю протягом декількох

хвилин або десятків хвилин, а в автомобілі люди часто проводять багато годин. Обидва вище-перечисленних фактора збільшують ризик негативного впливу магнітних полів.

У той час як у всіх типах автомобілів присутні зовнішні ЕМП, включаючи МП Землі, а також ЕМП від різних бортових електронних пристроїв. Електричні і гібридні автомобілі, завдяки своїм конструктивним особливостям генерують істотні внутрішні ЕМП в широкому діапазоні частот. Електрообладнання електро мобіля є джерелом змінного ЕМП, що має сильну тимчасову і просторову неоднорідність в діапазоні частот від 0 до сотень мегагерц.

З екологічної точки зору найбільш важливою є магнітна складова ЕМП, так як доведено, що саме вона може призводити до негативних наслідків для здоров'я. МП також може становити ризик для електромагнітної сумісності різних електротехнічних засобів і електронних пристроїв електромобіля.

Таким чином, вимір і оцінка МП, а також визначення їх топології в електричних/гібридних автомобілях є актуальним завданням. До сих пір робіт про детальні магнітні виміри в електричних/гібридних автомобілях дуже мало, а опубліковані статті з тестування МП в повністю електричних автомобілях практично відсутні взагалі. Однак підсумовування відомих до теперішнього часу відомостей і порівняння з даними, отриманими для інших видів електричного транспорту дозволило виявити характерні загальні для таких полів риси.

Основними рисами є те, що на відміну від синусоїдальних полів від ліній передач (на частоті 50 або 60 Гц), ЕМП в електричному автомобілі є мультисинусоїдальними полями, тобто вони є суперпозицією полів, що генеруються безліччю джерел на борту автомобіля. Крім того, виявлено, що МП в електромобілі є іррегулярні, що швидко змінюються в часі і вкрай неоднорідними в просторі салону.

Перераховані характерні риси МП в електромобілі ускладнюють докладні і точні вимірювання цих полів в салоні автомобіля, що рухається. Для коректних вимірювань полів і їх градієнтів в салоні і в безпосередній близькості від електромобіля необхідно враховувати: велику просторову неоднорідність поля в салоні автомобіля; аддитивну індустриальну перешкоду, а також природне постійне і змінне геомагнітне поле в тому ж діапазоні частот.

10. ВОДА ТА МОДУЛЬНІ ЕМП ЯК СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ КРЕОДИ

Експериментальне вплив ЕМП і супутній аналіз розмірів показують, що інформація у вигляді електромагнітної енергії може зберігатися в дискретних обсягах води (Gang et al., 2012). Недавні експериментальні дані підтверджують здатність води до «просторової пам'яті», в якій зрушення рН змінювалися в залежності від попереднього впливу ЕМП слабкої інтенсивності в джерельній воді (Dotta et al., 2013). Крім того, було виявлено, що вода, попередньо піддана ЕМП 16 G, нелінійно впливала на швидкість рухливості і дифузію швидкості у планарійних черв'яків (Gang, Persinger, 2011). Якщо вода може кодувати і зберігати пакети інформації - тобто фізична набір інструкцій або коду, який зберігається і може бути потенційно доступний для практичного використання - в якості енергії, а клітини в значній мірі складаються з води, то це означає, що клітини можуть кодувати і зберігати інформацію на основі ЕМ. Більш того, спостереження, що хімічні реакції не завжди стабільні, відповідним сонячним циклам (Piccardi and Carrel-Voute, 1972), вказує на потенційну можливість змінних в масштабі сонячної системи впливати на фізико-хімічні парадигми. У сукупності ці відкриття припускають, що локальна електромагнітна среда, така як геомагнітне поле, яке, як відомо, обурюється сонячним вітром, може потенційно модулювати клітинну активність і управляти біологічними структурно-функціональними процесами.

Механізми, за допомогою яких структури купуються і підтримуються в біологічних системах, ймовірно, схильні до впливу ЕМП типів, описаних раніше. ЕМ основи морфогенезу тривають дослідження (Burr, 1941; Levin, 2003). Гетерогенна функція, така як регуляція морфогенезу, вимагає аналогічного гетерогенного субстрату для отримання інформації. В даний час передбачається, що генетичний план з модифікацією в значній мірі достатній для виконання цієї вимоги. С.Н. Метафора епігенетичного ландшафту Уоддінгтона спочатку використовувалася як метод опису подібного роду регуляції генів розвитку (Waddington, 1942). Описано ландшафт піків і западин (т. Е Креодов), в якому геометрія вигнутого субстрату визначає стабільність об'єкта всередині нього. Об'єкт, поміщений в жолоб на дуже великій глибині, можна вважати досить стабільним, в якому потрібно відносно великий джерело енергії для переміщення об'єкта в альтернативну канавку в межах ландшафту. І навпаки, об'єкт, що спирається на вузьку вершину, може бути описаний як в значній мірі нестабільний (рис. 1В), де джерела низької енергії достатні, щоб перешкодити йому. Цей континуум ілюструє межі біологічного детермінізму як відносного поняття. Це узгоджується з теорією, яка передбачає, що в межах даної западини повинна бути фрактальна серія піків і западин (рис. 31), кожна з яких вносить свій внесок в комплексне, кероване вплив на морфологію. Недавня кількісна оцінка клітинного диференціювання в межах цих ландшафтів демонструє корисність цієї моделі (Wang et al., 2011). Стохастичний резонанс, безумовно, є одним із способів, за допомогою якого досить гучний фон може посилювати сигнали, пов'язані з основними клітинними процесами (Benzi et al., 1981). Стабільність біологічної системи буде визначатися тим, чи знаходяться одиниці в фазі з фоновими сигналами.

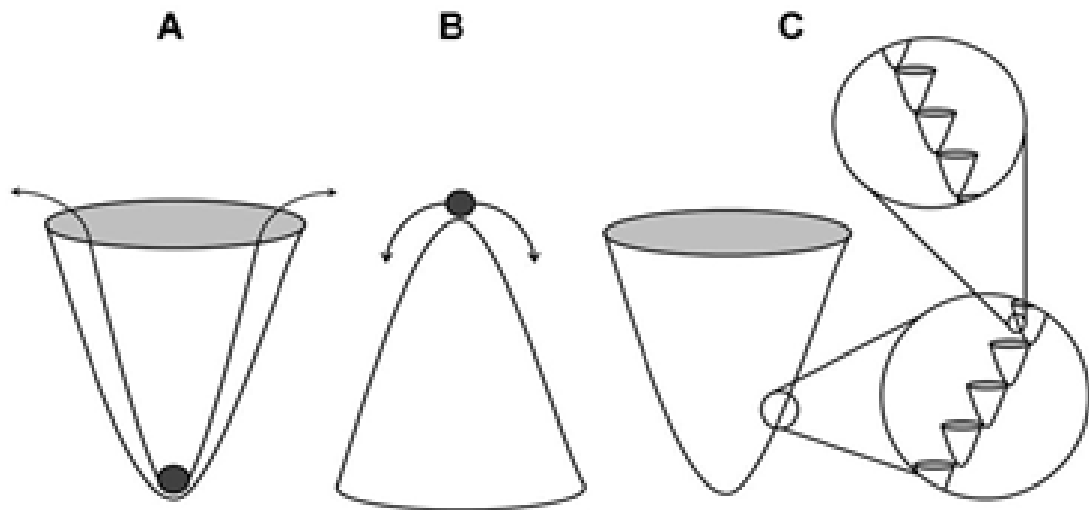


Рис. 31. Стабільні (А) і нестабільні (В) стану в ландшафті креодов, які описують керований вплив морфології. Більш глибокі або каналізовані жолоби вимагають більше енергії, щоб змістити стан до альтернативного поглибленню в ландшафті. Фрактальні канавки (С) дають комплексний вплив

Припустимо, що локальні ЕМП функціонують як функціональні ландшафти описаного тут типу. Можна було б очікувати, що фільтрація навколишнього електромагнітного середовища або застосування додаткової електромагнітної поляризації буде заважати лежить в основі гомеостатической ландшафту впливу. Конструктивна і деструктивна інтерференція піків і западин ЕМ може змінити фундаментальну структуру клітини або навіть організму. Як і у випадку з епігенетичної модифікацією, тонкі енергії, що застосовуються в критичні моменти розвитку, були б необхідні для обурення системи; феномен тератогенность була б прикладом очікуваного результату цього процесу. Щоб спостерігати ці ефекти, операційне середовище необхідно впливати на досить велику групу клітин, щоб змінити форму власне організму. Перинатальне вплив шаблонних ЕМП викликає зміни в морфології щурів (St-Pierre et al., 2007, 2008) - потенційний індикатор інтерференції ЕМ-шаблонів. Також можна сказати, що ЕМП здатні впливати на регенеративні здатності планарійного хробака (Муруган і ін., 2013). В обох випадках системи, що знаходяться під впливом, піддаються швидкої митотической проліферації і фундаментального процесу клітинної

диференціювання. У цих умовах стан системи за своєю природою є перехідним і, можливо, найбільш вразливе для збурень в електромагнітному середовищі. Грунтуючись на цих спостереженнях, можна зробити висновок, що певні біологічні стану сприйнятливі до впливу ЕМП, що підтверджує уявлення про те, що принципи, що лежать в основі підтримки морфології, по суті є ЕМ або можуть, як мінімум, взаємодіяти з ЕМ спектром, включаючи видимий світло. Прийняття цієї лінії розум не заперечує ефектів генетичного впливу і не має на увазі, що EMFs є унітарною силою, керуючої морфогенезом. Концепція морфогенетичного поля була раніше описана (Sheldrake, 2009) і підтверджена в літературі (Mahlberg, 1987; Sheldrake, 1992), яка характеризує всеосяжне поле впливу, яке спрямовує структуру-функцію. Фізичний механізм, що лежить в основі впливу морфогенетических полів, залишається значною мірою не охарактеризованих; проте ясно, що ЕМП висловлюють багато з гіпотетично описаних властивостей морфогенетичного поля, такі як здатність зберігати (Persinger, 2008; Gang et al., 2012) і передавати інформацію (Dotta et al., 2009 року; Burke et al., 2013). Найбільш частими різновидами цього явища є сучасні телекомунікації, а також вплив на членів загальної морфології (Persinger, 2013). З цих причин можна сказати, що існування ЕМ zeitgeber, здатного впорядковувати морфогенез, підтверджується в літературі.

Було запропоновано, щоб геомагнітне поле було об'єднує середовищем, в якій занурені біологічні структури можуть розділяти функціональні властивості. Персінгер (2008) кількісно оцінив потенціал екстрацеребральних джерел інформації, що зберігається в цьому середовищі, при цьому припустивши, що витяг може включати реконфігурацію самого органу, що кодує пам'ять (тобто гіпокампу) в мозку. Цей акцент на вимозі подібної структури при спробах реконструювати інформацію, представлену у формі ЕМ, перегукується з основними принципами морфогенетичного резонансу, як обговорювалося раніше.

Явна надмірність в геномній інформації присутній у різних видів. Це розумно, оскільки будь-які ефекти, що виникають в результаті генетико-електромагнітних взаємодій, будуть по суті надлишковими. Як всюдисуща змінна на планеті і потенційний посередник у формуванні біологічних структур, очікується, що місцева геомагнітна середовище буде викликати надмірні ефекти через загальну генетичної мінливості всередині і між видами. Одним з таких повторюваних явищ, які можна було б очікувати від цієї геометрії, відмінної від загальної геометрії організму, є явище критичних порогових значень за участю організованих систем (Detrain and Deneubourg, 2006). Соціальних комах часто порівнюють з нейронної структурою і функцією. Колонії медоносних бджіл і типових мурах складаються приблизно з 104 членів відповідно (Beckers et al., 1989; Camazine, 1991), кожен з яких володіє мозком, що складається з 106 нейронів (Menzel and Giurfa, 2001; Detrain and Deneubourg, 2006). Отже, кількість нейронів в типовій колонії медоносних бджіл або мурах знаходиться в межах того ж порядку величини, що і нейронів в типовому людському мозку, або 1010 одиниць на систему (Pakkenberg and Gundersen, 1997). Обчислювальні моделі мурах, що упорядковують себе на основі феромонних слідів, просторово нагадують типові дендритні патерни розгалуження нейронів в людському мозку (Detrain and Deneubourg, 2006) і навіть фундаментальний процес синаптичного відсікання (Chialvo and Millonas, 1995). В даний час передбачається, що приріст певного числа одиниць в системі є самоорганізується за своєю природою - емерджентним властивістю складних взаємодій, що відбуваються між колективом одиниць. Альтернативна гіпотеза полягає в тому, що деяка до сих пір не ідентифікована змінна управляє явищем з деякого зовнішнього джерела. Одна з можливостей полягає в тому, що інформація, що відноситься до розвитку нервової системи, частково зберігається в позаклітинній, електромагнітному середовищі. Доступ до цієї інформації дозволив би розвивається організму упорядкувати себе в відповідну структурну конфігурацію, необхідну для

найкращого резонансу з встановленим архетипом, що містяться в ЕМ-інграмм. Повторювані значення та критичні пороги в цьому випадку будуть наслідком зацикленої рядки коду, вираженої в декількох системах.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Ступінь біологічного впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти коливань, напруженості та інтенсивності поля, режиму його генерації (імпульсне, безперервне), тривалості впливу. Біологічна дія полів різних діапазонів неоднакова. Чим коротша довжина хвилі, тим більшою енергією вона має.

Люди, які працюють під надмірним електромагнітним випромінюванням, зазвичай швидко втомлюються, скаржаться на головний біль, загальну слабкість, біль у ділянці серця. У них збільшується пітливість, підвищується дратівливість, стає тривожним сон. В окремих осіб при тривалому опроміненні з'являються судоми, спостерігається зниження пам'яті, відзначаються трофічні явища (випадання волосся, ламкість нігтів тощо).

Якщо опромінення людей перевищує зазначені гранично допустимі рівні, необхідно застосовувати захисні засоби.

Захист людини від небезпечного впливу електромагнітного опромінення здійснюється низкою способів, основними у тому числі є: зменшення випромінювання безпосередньо від джерела, екранування джерела випромінювання, екранування робочого місця, поглинання електромагнітної енергії, застосування індивідуальних засобів захисту, організаційні заходи захисту.

Слід визнати, що тести, які проводять власники гібридів, за своєю чистотою дійсно далекі від досліджень автовиробників. Фахівці зазначають, що важко оцінювати будь-які показники, не знаючи при цьому, як проводились випробування. Проблематичним є визначення небезпечного

рівня низькочастотної радіації, частково тому, що доза залежить не тільки від відстані до джерела, але і тривалості впливу. Деякі експерти спробували розробити процедуру для тестування гібридів на рівень електромагнітних полів (ЕМП) та електромагнітних випромінювань (ЕМВ), проте вартість \$5 тис. за одне авто не сприяє її широкому застосуванню.

В основному більшість фахівців з ЕМП та ЕМВ відзначають, що під час перевірок гібридів справді відзначаються пікові значення, проте ніхто з упевненістю не може сказати, наскільки це шкідливе для здоров'я людини. Вчені сподіваються, що відповідні висновки будуть зроблені у недалекому майбутньому.

Однак це питання багато в чому залежить від великих автоконцернів, які, зі зрозумілих причин, поспішати не збираються, адже для них подібні дослідження, як і необхідність розробки елементів, що екранують, означають нові витрати, не кажучи вже про падіння «іміджу» класу автомобілів, що зароджується. І все-таки, не хотілося б, щоб у гонитві за економією та екологічністю було обрано черговий тупиковий варіант розвитку засобів пересування зі згубним впливом на людину.

Вимірювання рекомендується проводити за умови:

- а) розташування автомобіля на горизонтальному майданчику;
- б) відсутність атмосферних опадів;
- в) двері, капот, багажник - повинні бути зачинені;
- г) двигун повинен:
 - бути прогрітий до нормальної робочої температури (95 ° C);
 - працювати із частотою обертання 1500±220 хв.

Вимірювальна антена приладу для виміру рівня ЕМП та ЕМВ повинна розташовуватися навпроти центру автомобіля на відстані 10 м і на висоті 3 м, спереду або ззаду (залежно від розташування двигуна) та збоку, з боку розташування антени радіоприймача автомобіля.

Результатом вимірювань на даній частоті вважають найбільше з отриманих значень для всіх варіантів взаємного розташування автомобіля та вимірювальної антени.

На характер ЕМВ автомобіля впливають:

- а) ступінь стиснення двигуна;
- б) використання пластмасових або металевих крил, дахів, облицювання кузова, повітряних фільтрів;
- в) розміри, форма розподільника та котушки запалення, місце їх розташування у моторному відділенні;
- г) довжина, розміщення та якість високовольтних проводів;
- д) розміри та форма моторного відділення;
- е) відстань між колесами та моторним відділенням;
- ж) праве або ліве управління, оскільки це впливає на компонування деталей у моторному відсіку;
- з) наявність електронних засобів у системі запалювання;
- і) наявність сервісних механізмів, обчислювальних систем і радіопередаючих пристроїв;
- к) технічний стан всіх систем та вузлів, що формують ЕМВ;
- л) працездатність систем придушення ЕМВ;
- м) характер режиму та умови руху автомобіля.

Встановлено, що при русі транспортних засобів у потоці можливе явище резонансу ЕМВ в діапазонах частот (48...53), (76...82), (186...192) та (220...225) МГц, що призводить до збільшення середнього рівня випромінювань.

Загалом рівень ЕМВ потоку транспортних засобів визначається локальною щільністю потоку на ділянках мережі та може бути зменшений у результаті:

- а) зниження часу перебування на перехрестях;
- б) збільшення середніх швидкостей руху;

в) забезпечення режиму зеленої хвилі, тобто. рухи із постійною швидкістю тощо.

Крім небезпеки електромагнітного забруднення навколишнього середовища поза автомобілем, існує ще небезпека впливу ЕМП на людей, що знаходяться всередині салону автомобіля через:

- все більшого насичення населеного відсіку різними приладами та пристроями, здатними формувати електромагнітне поле;
- збільшення площі засклення.

У дослідженні зарубіжних країн (Китай та ін.) проведено моніторинг ЕМП та ЕМВ в трьох загальних транспортних засобах протягом двох років. Вимірювання проводились на передніх і задніх сидіннях в режимах прискорення і постійного руху. Виявлено, що значення напруженості (В) ширококутового доступу значно змінилося при заміні компонентів і шин, в той час як регулярні перевірки або технічне обслуговування не впливали на виміряні значення в автомобілі. Розкид основних спектральних компонентів (В) був більше для відремонтованих автомобілів в порівнянні з результатами автомобілів з регулярним технічним обслуговуванням. Ці результати підкреслюють необхідність регулярного моніторингу магнітних полів (МП) і електромагнітних випромінювань (ЕМВ) в електромобілях, особливо після капітального ремонту або аварій, щоб захистити користувачів автомобілів від впливу магнітних полів (МП). Необхідно суттєво оновити нормативну базу відносно безпеки для здоров'я людини (ЕМП), яка в Україні не оновлювалась з 1996 року (Наказ МОЗ України №239 від 1.ІІ.1996 р.) із урахуванням реальної ситуації на сьогодні.

В даний час відсутні методи дослідження спектральних характеристик джерел електромагнітного поля (НМП) автомобіля, а також механізм виникнення зовнішніх і внутрішніх електромагнітних полів автомобіля, не проводяться дослідження тонкої структури електромагнітного поля, які полягають у визначенні просторового розподілу амплітудних і енергетичних

параметрів поля (вектор Умова - Пойтинга, ротора і дивергенції). Цю роботу необхідно ретельно проводити з цілою низкою експериментів та пояснень.

Цілком очевидно, що інтенсивність техногенного електромагнітного впливу на людину в подальшому буде тільки зростати. Вже сьогодні можна говорити про масовість негативних наслідків заміни природних співтовариств штучними. Науковий досвід вивчення тисяч експериментальних робіт і епідеміологічних досліджень електромагнітних взаємодій ще не готовий дати відповідь на всі питання, але безперечні факти свідчать про полісистемність, поліорганна вплив на організм людини.

Коли змінюється «природна» екологія, виникають причини для розвитку екологічної патології людини. Подальші про освіти в цій сфері погано передбачувані. Ясно одне - необхідні пошуки профілактики, але не вторинної, а первинної. Майбутнє - в техногенному тумані ...

Литература

1. Демин А.К., Демина И.А. «Грязные» электромагнитные технологии опасны для здоровья // Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения России / Серия докладов по политике в области охраны здоровья населения. – М.: Российская ассоциация общественного здоровья, 2006. – 91 с.
2. Григорьев Ю.Г., Васин А.Л. Электромагнитные поля и население (современное состояние проблемы). – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 116 с.
3. Колесник А.Г. Электромагнитный фон и его роль в проблеме охраны окружающей среды и человека // Изв. ВУЗов. Физика. – 2008. – №8. – С. 102–112.
4. Кирюшин В.А., Большаков А.М., Моталова Т.В. Гигиена труда: Руководство к практическим занятиям. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 400с. : ил.
5. Бобраков С.Н., Карташев А.Г. Электромагнитная составляющая современной урбанизированной среды // Радиационная биология и радиоэкология. – 2001. – Т. 41, №6. – С. 706–711.
6. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека: Справочно-информационное пособие. – М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений, 1999. – 146 с.
7. Гольшко А.В., Сомов А.Ю. Проблемы эколотехнического развития сетей сотовой связи // Вестник связи. – 2008. – №10. – С. 60–69.
8. Гудина М.В. Гигиеническое значение электромагнитного фактора современной урбанизированной среды: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Сиб. гос. мед. ун-т (Томск). – Оренбург, 2008. – 23 с.
9. Байрамов А.А. Электромагнитный смог в помещениях // Петерб. журн. электроники. – 2004. – №2 (39). – С. 53–56.

10. United Nations Environment Programme / World Health Organization / International Radiation Protection Association. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). – Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 137, 1993.

11. Dumey C.H., Massoudi H., Iskander M.F. Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook, USAF School of Aerospace Medicine, Brooks AFB, TX, 4th ed. Rep. USAFSAM-TR-85-73, 1986.

12. Jokela K., Puranen L., Gandhi O.P. Radio frequency currents induced in the human body for mediumfrequency/ high-frequency broadcast antennas // Health Phys. – 1994. – Vol. 66. – P. 237–244.

13. Kuster N., Balzano Q. Energy absorption mechanism by biological bodies in the near field of dipole antennas above 300 MHz // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 1992. – Vol. 41 (1). – P. 17–23.

14. Tenforde T.S., Kaune W.T. Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans // Health Phys. – 1987. – Vol. 53. – P. 585– 606.

15. Птиціна Н. Г., Вилорезі Дж., Копитенко Ю. А., Тясто М. И. Магнітні поля електротранспорту та екологія людини. Типогр. "Нестор-Історія". Санкт-Петербург. 2010. С. 118.

16. Бажинов О. В., Кравцов М. М., Ілічук О. В. Методика вимірювання впливу електромагнітних випромінювань автотранспортних засобів на людину та навколишнє середовище. Вісник ХНАДУ, вип. 86, 2019, т. 1. С.66 – 73.

17. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С.А. та інш. Монографія. Гібридні автомобілі // - Х: ХНАДУ, 2008. С. 327с.

18. Селіванов С. Є., Філіпенко В. В., Бажинов О. В., Будянська Е. М. Автомобільний транспорт. № 25. ХНАДУ. С. 1-9.

19. Сидоренко А.В., Царюк В.В. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на биоэлектрическую активность мозга // Радиационная биология и радиационная экология. – 2002. – Т. 42, №5. – С. 546–550.

20. Чернышова О.Н., Будянская Э.Н., Пилипенко Н.О. Сравнительный анализ изменений в иммунном статусе работающих с ВДТ и лиц, подвергающихся воздействию ЭМП СВЧ-диапазона // Электромагнитные поля и здоровье человека: материалы 2-й междунар. конф. «Пробл. электромагн. безопасности человека. Фундамент. и прикл. исслед. Нормирование ЭМП: философия, критерии и гармонизация», 20–24 сент. 1999 г., Москва. – М., 1999. – С. 110–111.

21. Лебедева Н.Н. Реакция центральной нервной системы человека на электромагнитные поля с различными биотропными параметрами // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – №1. – С. 24–36.

22. Kraus Ch. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task // Cognitive Neuroscience and Neuropsychology. – 2000. – Vol. 22, №4. – P. 761–764.

23. Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А. Нейроиммуноэндокринные механизмы действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты (часть 1) // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2005. – №2 (38). – С. 3–22.

24. Виноградов Г.И. Теоретические и практические аспекты гигиенической регламентации факторов окружающей среды на основе иммунологического критерия вредности / Г.И. Виноградов // Гигиена и санитария. – 1984. – №4. – С. 4–6.

25. Сиюй Оуян, Воронцова З.В., Перов Ю.Ф. Морфофункциональная реакция коры надпочечников на воздействие низкочастотного магнитного поля // Мед. физика. – 2005. – №4 (28). – С. 47–49.

26. Системный анализ морфофункциональных изменений в щитовидной железе при импульсном воздействии электромагнитного излучения: моногр. / Воронцова З.А., Дедов В.И., Есауленко И.Э. и др. – Тула: Тульский полиграфист, 2004. – 228 с.

27. Русин М.Н., Фатхутдинова Л.М. Воздействие электромагнитных полей 50 Гц на показатели вариативности сердечного ритма персонала энергообъектов // Медицина труда и пром. экология. – 2001. – №11. – С. 5–9.

28. Ультранизкочастотные магнитные поля от электротяги как профессиональный фактор риска ишемической болезни сердца / Птицына Н.Г., Кудрин В.А., Виллорези Дж. и др. // Мед. труда и пром. экол. – 1996. – №12. – С. 22–25.

29. Андриенко Л.Г., Думанский Ю.Д. Состояние сексуальной функции у обслуживающего персонала подстанции 750 кВ // Электромагнитные поля и здоровье человека: материалы 2-й междунар. конф. «Пробл. электромагн. безопасности человека. Фундамент. и прикл. исслед. Нормирование ЭМП: философия, критерии и гармонизация», 20–24 сент. 1999 г., Москва. – М., 1999. – С.78.

30. Влияние радиочастотных электромагнитных полей на репродуктивную функцию мужчин / Сухова И.В., Николаев А.А., Луцкий Д.Л., Махмудова А.М. // Эколого-биологические проблемы бассейна Каспийского моря: матер. 6 междунар. конф. – Астрахань, 2003. – С. 99–100.

31. Субботина Т.И., Ткаченко В.Н., Яшин А.А. Влияние высокочастотных электромагнитных излучений на репродуктивную функцию // Системный анализ и управление в биомед. системах. – 2002. – Т. 1, №4. – С. 391–394.

32. Иванов А.В., Кожин А.А. Репродуктивная функция женщин, работающих в условиях комбинированного действия магнитных полей // Медицина труда и пром. экология. – 1999. – №3. – С. 26–29.

33. Отдаленные эффекты производственных и внепроизводственных воздействий электромагнитных полей промышленной частоты. Эпидемиологические исследования / Тихонова Г.И., Рубцова Н.Б., Новохатская Э.А., Тихонов А.В. // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – Т. 43, №5. – С. 555–558.

34. London S.J., Thomas D.S., Bowman J.D. et al. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia // *Am. J. Epidemiology*. – 1991. – Vol.134. – P. 923–937.

35. Wertheimer N. Childhood cancers in relation to indicators of magnetic fields from ground current sources / N. Wertheimer, D. Savitz, E. Leeper // *Bioelectromagnetics*. – 1995. – Vol. 16, №2. – P. 86–96.

36. Майклсон, С.М. 1986. Взаємодія немодульованих радіочастотних полів з живою речовиною: експериментальні результати. Стор. 339-423 в Довіднику по біологічних ефектів електромагнітних полів, К. Полк, редактор; , І Е. Постів, редактор. , Ред. Бока-Ратон, Флорида.

37. Макрі, Д.І. і Х. Вахтель. 1982. Вплив імпульсного мікрохвильового випромінювання на нервову систему. *Radiat. Res.* 91: 212-218. [PubMed]

38. Wachtel, H., R. Seaman і W. Joines. 1975. Дія низькоінтенсивних мікрохвиль на ізольовані нейрони. *Ann. NY Acad. Sci.* 247: 46-62. [PubMed]

39. Чжоу, Ч.-к., і А.В. Гай. 1973. Вплив мікрохвильових полів 2450 МГц на периферичні нерви. Стор. 318-310 в збірнику технічних документів. *IEEE International Microwave Symposium* (Боулдер, Колорадо, червень 1973 г.).

40. Ліддл, К. Г. і К. Ф. Блекман. 1984. Ендокринні, фізіологічні та біохімічні ефекти. Стор. 5,79-5,93 в «Біологічні ефекти радіочастотного випромінювання», JA Elder, редактор; , І Д. Ф. Кехілл, редактор. , Ред. Звіт USEPA № EPA-600 / 8-83-026F. Парк дослідного трикутника, Північна Кароліна: Лабораторія дослідження впливу на здоров'я, Агентство з охорони навколишнього середовища США.

41. Критерії гігієни навколишнього середовища Всесвітньої організації охорони здоров'я. 1991. Електромагнітні поля (300 Гц-300 ГГц). Женева, Швейцарія: ВООЗ.

42. Джонсон, С.С. і А.В. Гай. 1972. Неіонізуючі ефекти електромагнітних хвиль в біологічних матеріалах і системах. *Proc. IEEE* 60: 692-718.

43. Лай, Х., М.А. Карина, А. Хоріта і А.В. Гай. 1989. Низькорівневе мікрохвильове опромінення і центральна холинергическая активність: дослідження залежності від дози. Біоелектромагнетизм 10: 203-208. [PubMed]
44. Меррітт, Дж. Х., У. В. Шелтон і А. Ф. Чамнесс. 1982. Спроби змінити зв'язування 45 Ca^{2+} з тканиною мозку за допомогою імпульсної мікрохвильової енергії. Біоелектромагнетизм 3: 475-478. [PubMed]
45. Майклсон, С.М. і Дж. К. Лін. 1987. Біологічні ефекти і наслідки радіочастотного випромінювання для здоров'я. Нью-Йорк, штат Нью-Йорк: Plenum Press.
46. Justesen, DR 1980. Мікрохвильове випромінювання і гематоенцефалічний бар'єр. Proc. IEEE 68: 60-67.
47. Вільямс, В.М., С.Т. Лу, М. Дель Серро і С.М. Майклсон. 1984. Вплив мікрохвильової енергії 2450 МГц на гематоенцефалічний бар'єр для гідрофільних індикаторів. Brain Res. Об. 7: 191-212. [PubMed]
48. Андерсон, Л. Є. і Р. Д. Філліпс. 1985. Біологічні ефекти електричних полів: огляд. Стор. 345-378 в «Біологічні ефекти і дозиметрія статичних і електромагнітних полів КНЧ», М. Грандольфо, редактор; , С. М. Майклсон, редактор; , І А. Рінді, редактор. , Ред. Нью-Йорк, штат Нью-Йорк: Plenum Press.
49. Тенфорд, Т.С. і Т.Ф. Будінгер. 1986. Біологічні ефекти і аспекти фізичної безпеки ЯМР-візуалізації і спектроскопії in vivo. Стор. 493-548 в ЯМР в медицині: прилади та клінічне застосування, С. Р. Томас, редактор; , І Р.Л. Діксон, редактор. , Ред. Монографія з медичної фізики № 14. Нью-Йорк, штат Нью-Йорк: Американська асоціація фізиків в медицині.
50. Wachtel, H. 1978. Зміни патернів збудження і трансмембранні струми, створювані надзвичайно низькочастотними полями в нейронах кардіостимулятора. Стор. 132-146 в «Біологічні ефекти надзвичайно низькочастотних електромагнітних полів», Р. Д. Філліпс, редактор.

51. Heynick, LN 1987. Критика літератури по біоефектов радіочастотного випромінювання: всебічний огляд, що відноситься до операцій BBC. USAFSAM-TR-87-3.

52. Рошковська, М., Дж. К. Врембель, К. Рошковська, М. Яняк і С. Шмигельський. 1980. Чи включає терапія гіпертермії всього тіла участь імунної системи? *Natl. J. Cancer* 25: 289-292. [PubMed].

53. Адей, В. Р. (1980). Частотне і силове вікно при взаємодії тканин зі слабкими електромагнітними полями. *Proc. IEEE* 68, 119-125. DOI: 10.1109 / proc.1980. 11591

54. Адей, В. Р. (1981). Взаємодія тканин з неіонізуючими електромагнітними полями. *Physiol. Ред.* 61, 435-513.

55. Банерджі, С. К. (2001). Геофізика. Коли компас перестав міняти полюса. *Science* 291, 1714-1715. DOI: 10.1126 / science.291.5509.1714

56. Бензи Р., Сутера А. і Вульпіані А. (1981). Механізм стохастичного резонансу. *J. Phys. Математика. Покоління* 14, L453 - L457. DOI: 10.1088 / 0305-4470 / 14 / 11/006

57. Берк, Р. К., Готьє, М. Ю., Руло, Н., і Персінджер, М. А. (2013). Експериментальна демонстрація потенційного заплутування мозкової активності на відстані більше 300 км для пар суб'єктів, які поділяють одні й ті ж магнітні поля кругового обертання і кутового прискорення: перевірка за допомогою вимірювань s_LORETA, QEEG. *J. Свідоме. Explor. Res.* 4, 35-44.

58. Цифра М., Філдс Дж. З. і Фархаді А. (2011). Електромагнітні стільникові взаємодії. *Прог. Біофіз. Мовляв. Біол.* 105, 223-246. DOI: 10.1016 / j.pbiomolbio.2010. 07.003

Наукове видання

Бажинів Олексій Васильович
Кравцов Михайло Миколайович

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА БЕЗПЕКА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Монографія