

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно–дорожній університет

Механічний факультет

Кафедра метрології та безпеки життєдіяльності

ДИПЛОМНА РОБОТА

бакалавра

**РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ  
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В САЛОНІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ**

Завідувач кафедри, д-р техн. наук, проф.

О.В. Полярус

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент

О.С. Букреева

Керівник, канд. техн. наук, доцент

М. М. Кравцов

Студент гр. ММ – 41-16

Є. В. Яровий

Харків – 2020

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 57 с., 25 рис., 8 табл., 1 додаток, 16 джерел.

ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ; МЕТОДИКА ВИМІРЮВАНЬ; НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ; НЕБЕЗПЕКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ; САЛОН ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.

Об'єкт дослідження - розробка методики вимірювань електромагнітних випромінювань електро та гібридних автомобілів.

Мета роботи – визначення напруженості електромагнітних полів в точках знаходження водія та пасажирів замкнутого простору салону електромобіля для порівняння з гранично допустимими умовами (ГДУ) діючих Українських та Європейських стандартів і визначення електромагнітної небезпеки для людини і навколишнього середовища.

Метод дослідження – статистичний аналіз електромагнітних випромінювань.

Розглянуто матеріали до підготовки та розробки методики вимірювання напруженості електромагнітного поля в салоні електромобіля.

Обрані та запропоновані для вимірювання напруженості електромагнітного поля прилади та пристосування які на погляд автора можуть точно провести необхідні дослідження.

Для порівняння показників вимірювань науковців ХНАДУ проаналізовані аналогічні роботи по дослідженню напруженості електромагнітних полів в електро та гібридних автомобілях дослідників деяких країн.

Проаналізовані Українські та Європейські стандарти по знаходженню гранично-допустимих рівнів (ГДУ) впливу на пасажирів і водіїв небезпечних електромагнітних випромінювань.

Створена методика вимірювання напруженості електромагнітного поля в салоні електромобіля.

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ**

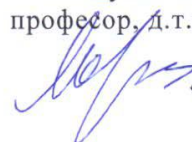
Факультет Механічний  
Кафедра Метрології та безпеки життєдіяльності

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 152. "Метрологія та інформційно-вимрювальні технології"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МБЖД  
професор, д.т.н. Полярус О. В.

 «27» лютого 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ ГРУПИ ММ-41-16

Яровому Євгенію Вікторовичу

1. Тема проекту (роботи): **"Розробка методики вимрювання напруженості електромагнітного поля в салоні електромобіля"**

Керівник: доцент, к. т. н. Кравцов М. М.

Затверджені рішенням Вченої ради Механічного факультету  
від « » 20 \_\_\_\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи « 25 » травня 2020 р.

3. Вхідні дані до проекту (роботи):

3.1. Стандарти, ДСТУ різних напрямів вимрювань напруженості ЕМП та ЕМВ.

3.2. Діапазони вимрювань напруженості МП (в данному експерименті ~ 35 мГ, тобто 3,5 мкТл) досягає під час прискорення електромобіля.

3.3. Згідно ДСНІП № 239-96 норма магнітних полів становить 239 мкВт / см<sup>2</sup>.

3.4. Стандарт FCC і ANSI / IEE C.1-1992 допускає показання ЕМП 1,5 мкВт / см<sup>2</sup>.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

4.1. Небезпечні фактори електромагнітних полів та електромагнітних випромінювань.

4.3. Аналіз існуючої нормативної бази ЕМП та ЕМВ в Україні.

4.4. Особливості впливу ЕМП та ЕМВ на здоров'я людини.

4.5. Розроблення методики випромінювань напруженості ЕМП в салоні електромобіля.

4.6. Організація теоретичних та експериментальних досліджень.

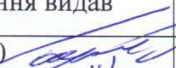
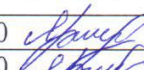


4.7. Експериментальні дослідження напруженості ЕМП та ЕМВ у електричних т/з в ХНАДУ.

4.8. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу ДП (з точним зазначенням обов'язкових креслень).

Схеми, таблиці, графіки, формули – згідно теми ДП

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
4.4.	Професор Богатов О. І.	27.02.2020 	27.02.2020 
3.2.	Доцент Коваль А. О.	27.02.2020 	27.02.2020 

Дата видачі завдання « 27 » лютого 2020 р.

7. КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Нормативні документи вимірювань напруженості ЕМВ в Україні	02.03.20	
2	Діапазони вимірювань напруженості ЕМВ в електромобілях	12.03.20	
3	Аналіз стандартів західних країн та Європи	20.03.20	
4	Прилади та приладдя вимірювань напруженості ЕМВ	25.03.20	
5	Зміст розрахунково-пояснювальної записки	06.03.20	
6	Розроблення методики вимірювань напруженості ЕМВ	30.04.20	
7	Висновки	05.05.20	
8	Використана література	07.05.20	
9	Графічний матеріал	08.05.20	
10	НОРМОКОНТРОЛЬ	15.05.20	
11	Підготовка слайдів до доповіді ДП	18.05.20	
12	Доповідь ДП	09.06.20	

Студент Яровий Є. В.  
(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Керівник проекту (роботи) Кравцов М. М.  
(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

\* Завдання друкується на одному аркуші паперу з двох боків.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
Перелік посилань та скорочень .....	7
1. Вплив потужності електромагнітних полів на людину.....	8
2. Нормативні документи вимірювань напруженості електромагнітних випромінювань в Україні.....	12
3. Аналіз стандартів західних країн та Європи.....	14
3.1. Нормовані рівні напруженості магнітного поля.....	16
3.2. Директивне регулювання електромагнітних випромінювань Європейським союзом.....	19
4. Прилади вимірювань напруженості електромагнітних полів.....	22
5. Фізичні величини і одиниці .....	27
6. Діапазони вимірювань напруженості електромагнітних випромінювань електромобіля .....	28
7. Вимірювання напруженості електромагнітних випромінювань у електро та гібридних автомобілів.....	32
8. Результати вимірювань напруженості електромагнітних випромінювань у електро та гібридних автомобілях ХНАДУ .....	39
Висновки.....	41
Перелік посилань .....	42
Додаток А Методика вимірювання напруженості електромагнітного поля в салоні електромобіля .....	44
Додаток Б Ілюстративний матеріал до дипломної роботи .....	





## ВСТУП

Основною особливістю електромобілів є те, що водії можуть підключати їх для зарядки від зовнішнього джерела електроенергії. Це відрізняє їх від гібридних електромобілів, які доповнюють двигун внутрішнього згоряння акумулятором, але не можуть бути підключені. Існує два основних типи електромобілів: електромобілі (AEV) і гібридні електромобілі (PHEV).


AEV повністю електричні транспортні засоби, приводяться в дію одним або декількома електродвигунами. Вони отримують електрику, підключаючись до мережі і зберігаючи її в батареях. Вони не споживають палива на нафтовій основі і не виробляють вихлопних газів. Всі електромобілі (AEV) працюють тільки на електриці.

PHEV - підключаємі гібридні електромобілі, які використовують батареї для живлення електродвигуна, підключаються до електричної мережі для зарядки і використовують бензинове або альтернативне паливо для живлення двигуна внутрішнього згоряння. Деякі типи PHEV також називають електромобілями дальнього радіусу дії (EREV). PHEV працюють на електриці для більш коротких дистанцій (від 7 до 60 км), потім перемикаються на двигун внутрішнього згоряння, що працює на бензині, коли батарея розряджена.

Гнучкість PHEV дозволяє водіям використовувати електрику як можна частіше, а також при необхідності заправлятися бензином. Харчування транспортного засобу електрикою від електромережі знижує витрати на паливо та споживання нафти і знижує викиди з вихлопній трубі в порівнянні зі звичайними транспортними засобами. Коли дальність пробігу більше, ніж у повністю електричного діапазону, PHEV діють як гібридні електромобілі, споживаючи менше палива і виробляючи менше викидів, ніж аналогічні звичайні автомобілі.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕРМІНІВ

CENELEC — **Европейский комитет электротехнической стандартизации** 

IL - сила струму в кінцівках

IS - ток дотику

SAR - питома швидкість поглинання (Вт/ кг)

B - щільність магнітного поля

ВЧ – високі частоти

ГДР – гранично допустимі рівні

ДВЧ – дуже високі частоти

E - напруженість електричного поля вимірюється в вольтах на метр (В/м)

ЕЕ – енергетична експозиція

ЕМ електромобіль

ЕМВ – електромагнітне випромінювання

ЕМП – електромагнітне поле

ЕП - електричне поле

ІПД – імпульс потужності джерела

КВ – коротке випромінювання

ККД – коефіцієнт корисної дії

КСД – коефіцієнт спрямованої дії

МП – магнітне поле, що виникає при русі електричних зарядів.

H - напруженість магнітного поля (А/м) або в щільності потоку в мкТл).

НВЧ – надвисокі частоти

НЧ – низькі частоти

СЧ – середні частоти

УВЧ – ультрависокі частоти

УКВ – ультракоротке випромінювання

УКХ – ультракороткохвильовий

Ч – частота, кількість коливань або циклів в ЕМП (виражається в герцах (Гц))

ЩПЕ – щільність потоку енергії



## 1 ВПЛИВ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ЛЮДИНУ

Автомобіль, будучи засобом пересування людини, все більше і більше насичується електронними та електричними пристроями, які позначаються на здоров'ї людини 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 впливу вкрай низької частоти (ELF, діапазон частот від 0 до 100 кГц впливу магнітного поля (MF) в EV і HEV викликало стурбованість громадськості.

Вплив МЧ неминуче в компактній металевій кабіні, а розподіл внутрішнього поля дуже складно. ELF MF вплив, певне Міжнародним агентством з дослідження раку (IARC) як можливо канцерогенна для людини, тісно пов'язане із захворюваністю на лейкемію.

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 короткострокових ефекти. Зокрема, Ahlbom et al. [3] і Greenland et al. [4] вказали, що щорічне 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 була надійно продемонстрована. На підставі результатів вимірювань дослідники оцінили вплив на людину електромагнітних полів з урахуванням морфології і топології автомобіля [1].

Матеріали, що використовуються в електромобілях, значно впливають на розподіл магнітного поля в кабіні. Повідомляється, що деякі виробники використовують кришки, що містять спеціальні металеві елементи (наприклад, берилієвих мідь), щоб зменшити вплив Мґ 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.

Значення щільності магнітного поля ( $B$ ) в різних положеннях автомобіля, в умовах прискорення і руху з постійною швидкістю 40 км/год показали, що значення ELF Мґ 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. [2].

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 напругах 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  $0,000006 \text{ мкВт/см}^2$  [3].

Зміни в організмі людини в результаті впливу ЕМІ різної потужності приведені на рис. 1, за даними М.М. Грачова в авторській інтерпретації.



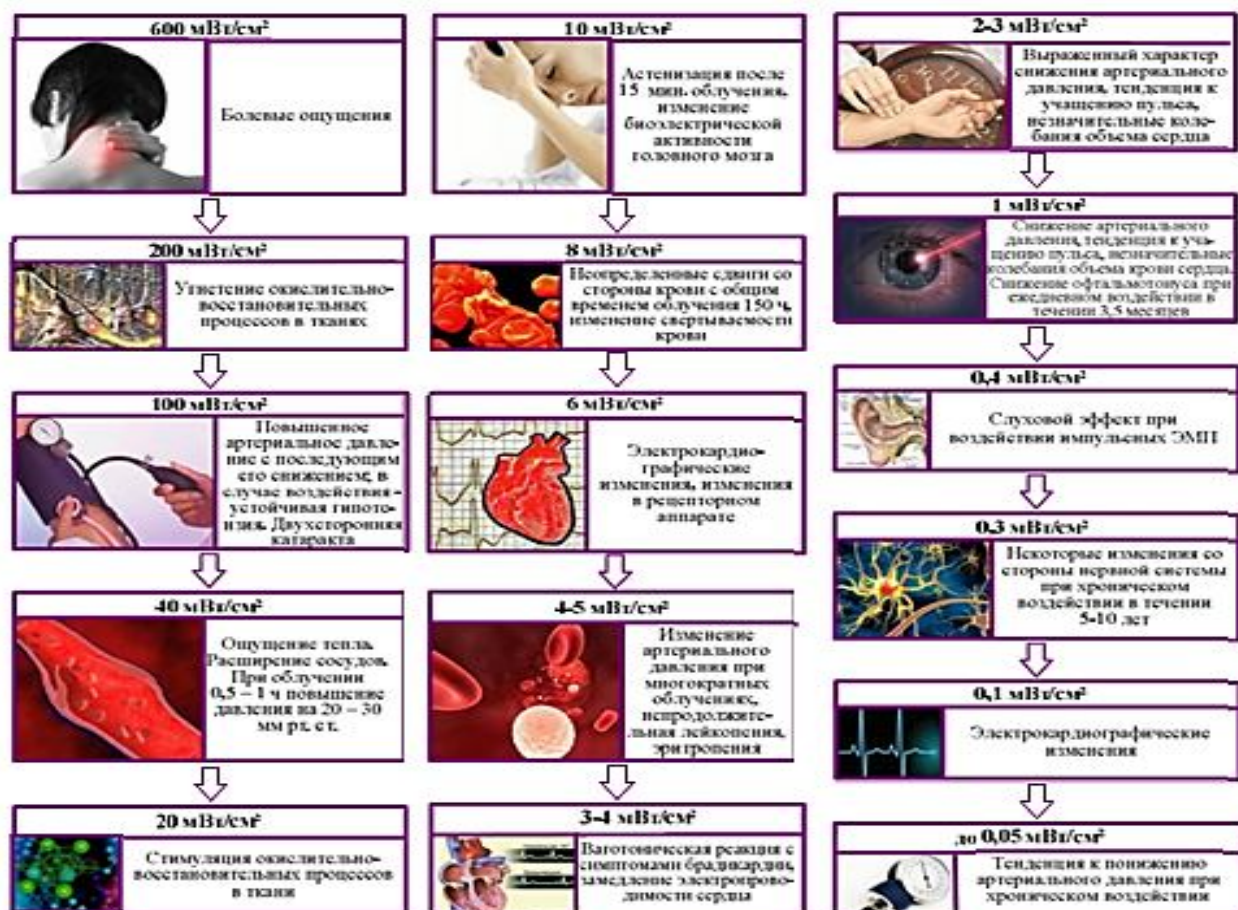


Рисунок 1.1 Возможні зміни в організмі людини під впливом електромагнітних випромінювань різної інтенсивності

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 [4].



## 2. НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ ВИМІРЮВАНЬ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ В УКРАЇНІ

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: 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 [5].

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 [6].

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 50кГц 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 300МГц до 300 ГГц нормативним параметром є густина потоку енергії ГПЕ, Вт/м<sup>2</sup>. Нормативною величиною є також гранично допустиме енергетичне навантаження  $E H_E (В/м)^2 \times \text{год}$  та  $E H_H, (А/м)^2 \times \text{год}$ . 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. 1 та 2).

Табл. 2.1 Гранично допустимі напруженості електричного і магнітного полів

Частота	Допустимі 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. 2.2 Норми опромінення УВЧ і НВЧ

Густина потоку енергії, Вт/м <sup>2</sup>	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 <sup>2</sup> За умови користування захисними окулярами. В решті робочого часу не більше 0,1 Вт/м <sup>2</sup>

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 [7].

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 1 м.

### 3 АНАЛІЗ СТАНДАРТІВ ЗАПАДНИХ СТРАН ТА ЄВРОПИ

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 [8].

За результатами медико-біологічних досліджень встановлено 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. 3).

Табл. 3.1 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 [9].



### 3.1 НОРМОВАНІ РІВНІ НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО

#### ПОЛЯ

Більшість зарубіжних країн в частині нормування МП промислової частоти дотримуються рекомендацій, запропонованих міжнародними організаціями, що наведені у табл. 2.4.



Табл. 3.2 Нормована міжнародними організаціями

напруженість магнітного поля промислової частоти

Організації	Напруженість МП, мкТл		Щільність струму, мА/м <sup>2</sup>	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	10	1600
	-		4	640
Великобри танія – 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.[10]

На основі рекомендацій міжнародних організацій та Євросоюзу у країнах-членах ЄС прийнято національні рівні допустимого випромінювання магнітного поля з урахуванням часового обмеження його ді (табл. 5).



Табл. 3.3 Національні рівні допустимого випромінювання

магнітного поля з урахуванням часового обмеження його дії



Країна	Значення допустимого випромінювання магнітного поля H, A/м	Часове обмеження
Австрія	80 800	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі короткочасне
Австралія	80 800	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі короткочасне
Великобританія	80	Рекомендована величина
Нідерланди	0,32 80 96	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	80 800	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі короткочасне
Німеччина	80 160	Перебування в полі без часового обмеження Перебування в полі протягом 2 годин на добу
Словенія	8 80	Місця масового перебування людей Інші території
Польща	60	Перебування в полі без часового обмеження
Фінляндія	400 80	Перебування в полі короткочасне Перебування в полі без часового обмеження
Чеська Республіка	80	Величина, рекомендована ICNIRP
Швейцарія	0,8 80	Місця масового перебування людей Інші території
Рекомендація Євросоюзу	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 [11].



### 3.2 ДИРЕКТИВНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ЄВРОПЕЙСКИМ СОЮЗОМ

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/ЄС 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 [12].

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. 6.

Табл. 3.4 Граничні значення ЕП і МП залежно від частот джерел і питомого поглинання енергії

Характер-ка впливу	Частотний діапазон	Щільність струму для голови і тулуба (мА/м <sup>2</sup> )	SAR, середнє значення для тіла людини (Вт/кг)	SAR, локальнє значення (голова і тулуб) (Вт/кг)	SAR, локальнє 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).



Табл. 3.5 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 <sup>2</sup>
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 [13].

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 запалені до 600 Гц. При онкологічних захворюваннях частота змінюється в бік низьких частот. Небезпечними є частоти від 3 Гц до 50Гц які співпадають із частотним ритмом головного мозку [14].



#### 4. ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАНЬ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ 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. 2) 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. 4.1 Комплект вимірювачів електричних та магнітних полів  
"Циклон-04"

Вимірювач ПЗ-41 (рис. 3) призначений для виявлення і контролю біологічно небезпечних рівнів електромагнітних випромінювань, напруженості.



Рис. 4.2 Вимірювач ПЗ-41

BE-METP-AT-003 (рис. 4) – вимірювач параметрів електричного і магнітного полів трикомпонентний призначений для проведення вимірювань під час атестації робочих місць операторів ЕОМ.



Рис. 4.3 BE-METP-AT-003

Для вимірювань електричних і магнітних полів використовуються прилади ИСП-01, ИЭП-05, ИМП-05/2, ИМП-05/1.

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.

Вимірювач рівня електромагнітного поля МEGEON 07020 (рис. 5)



Рис. 4.4 МЕГЕОН 07020

Вимірювач рівня  
електромагнітного  
поля МЕГЕОН 07100 (рис.4.5)



Вимірювач напруженості  
електромагнітного поля  
МЕГЕОН 07150 (рис.4.6)



Вимірювач рівня електромагнітного випромінювання МЕГЕОН 0780

Електр. поле: Одиниця: В / м; Точність: 1 В / м; Діапазон: 1 -1999В / м; магнітні. поле: Одиниця: мкТл; Точність: 0,01 мкТл; Діапазон: 0.01 - 99.99 мкТл; Габарити: 63.6x31x125.8 мм. Вага: 146 г



Діапазон вимірів:

Для електричного поля: 1-1999 В / м, для магнітного поля: 0,01-19,99 мкТл

Діапазон частот: 5 Гц - 3500 МГц

Точність:

Для електричного поля:  $\pm 1$  В / м Для магнітного поля:  $\pm 0,01$  мкТл

Харчування: Батарея типу «Крона», 9

Дисплей: 3 розряду (+ індикатор 1/2)

Діапазон вимірів: Низькочастотне випромінювання: 1 - 1999 року о / м

Високочастотне випромінювання: 1-1999 мкВт / см<sup>2</sup> . Діапазон частот:

Низькочастотне випромінювання: 5 Гц - 400 кГц

Високочастотне випромінювання: 30 МГц - 3000 МГц



Рис. 4.7 МЕГЕОН 0780

Ізотропний метод вимірювань

3-х канальний датчик. Діапазон частот від 10 МГц до 8 ГГц

Динамічний діапазон 75 дБ. Одиниці виміру мВ / м, В / м, мкА / м, mA / м, мкВт / м<sup>2</sup>, мВт м<sup>2</sup>, Вт / м<sup>2</sup>, мкВт / см<sup>2</sup>, мВт / см<sup>2</sup>. Діапазони вимірювань напруженості електричного поля: 20 мВ / м ... 108 В / м



Рис. 4.8 Вимірювач ПЗ-50

Вимірювач ПЗ-50 призначений для вимірювання напруженості електричного і магнітного поля промислової частоти (50 Гц) і застосовується для контролю гранично допустимих рівнів електричного і магнітного поля згідно ГОСТ 12.1.002-84 і СН №3206-85.

Вимірювач напруженості електромагнітного поля МНДВО ІПЕП-1



Рис. 4.9 МНДВО ІПЕП-1

Вимірювач напруженості електромагнітного поля ПЗ-21

Вимірювання напруженості електростатичного поля (2-1000 В / м)

Вимірювання потенціалу заряджених об'єктів (0,02-50 кВ). Вимірювання поверхневої густини зарядів ( $2 \times 10^{-8}$ - $1 \times 10^{-5}$  Кл / м<sup>2</sup>). Похибка вимірювання  $\pm (5-10)\%$ .

Лазерний показчик відстані до об'єкта (2, 1 см). Індикатор 3,5 розряду.

Для вимірювання середньоквадратичних значень напруженості електричної і



Рис. 4.10 ПЗ-21

Вимірювач параметрів  
електростатичного поля ППЕП-1



Рис. 4.11 ППЕП-1

Широкосмуговий вимірювач  
напруженості електричного і  
магнітного поля Narda NBM-550  
(рис.4.12)



магнітної складових ЕМП в режимах НК,  
АМ і ІМ. 10 кГц-300 МГц, 1-1000 В / м, 0,5-  
16 А / м. замінює ПЗ-17.

Вимірювач параметрів електростатичного  
поля ППЕП-1 призначений для вимірювання  
потенціалів електростатично заряджених  
об'єктів, напруженості електростатичного  
поля і поверхневої густини електричних  
зарядов. ППЕП-1 може бути використаний  
для вимірювання параметрів  
електростатичного поля.

Характеристики Narda NBM-550:

Дисплей: тип РК, що працює на пропусканні  
та відбиття, чорно-білий

Частота оновлення: 200 мс для гістограм і  
графіків, 400 мс для чисельних результатів.

Параметри вимірювання:

Одиниці виміру мВт / см<sup>2</sup>, Вт / м<sup>2</sup>, В / м, А /  
м, (% від стандарту). Діапазон значень:

0,0001 - 9999, 4 знака, можуть бути обрані  
змінні або постійні тріади. Змінні тріади: 0,0  
В/м – 100 кВ/м; 0,027 мА/м – 265,3 А/м; 0,26  
мкВт/м<sup>2</sup>

## 5 ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ І ОДИНИЦІ

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 ( $V \cdot m^{-1}$ ). 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 ( $A \cdot m^{-1}$ ). Ці дві величини пов'язані наступним співвідношенням:  $B = \mu H$ , (1) де  $\mu$  - коефіцієнт пропорційності (магнітна проникність); для вакууму, повітря і немагнітних матеріалів (включаючи біологічні) значення  $\mu$  одно  $4\pi \cdot 10^{-7}$  Генрі на метр ( $H \cdot m^{-1}$ ). Таким чином, при описі магнітного поля необхідно вказати один з параметрів:  $B$  або  $H$ . (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  $E$  і  $H$  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  $E / H$  від значення хвильового опору  $377 \text{ Ом}$ , 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  $\sigma$  - 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.



## 6. ДІАПАЗОНИ ВИМІРЮВАНЬ НАПРУЖЕНОСТІ ЕМВ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Напруженість електричного поля - векторна фізична величина ( $E$ ), яка є основною кількісною характеристикою електричного поля, що виражається відношенням сили, що діє з боку поля на електричний заряд, до величини заряду (рис. 6.1-6.4), вимірюється у вольтх на метр (В/м).

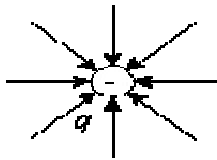


Рис. 6.1

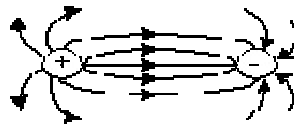


Рис. 6.2

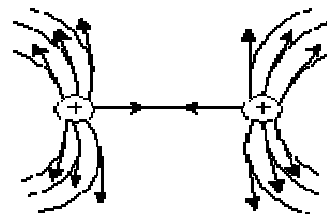


Рис. 6.3

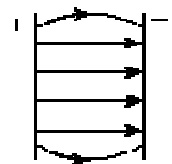


Рис. 6.4

Силві лінії електричного поля точкових зарядів незамкнені. Вони починаються на позитивних електричних зарядах і закінчуються на негативних (рис. 6.1-6.4). Віддалік від країв пластин силві лінії паралельні: електричне поле однакове у всіх точках (рис. 6.4). 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:

$$\vec{E} = \int d\vec{E} \quad (6.1)$$

де  $\vec{F}$  – сила, 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. Силовими 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:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i, \quad (6.2)$$

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

$$\vec{E} = \int d\vec{E} \quad (6.3)$$

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

Напруженість поля точкового заряду дорівнює:

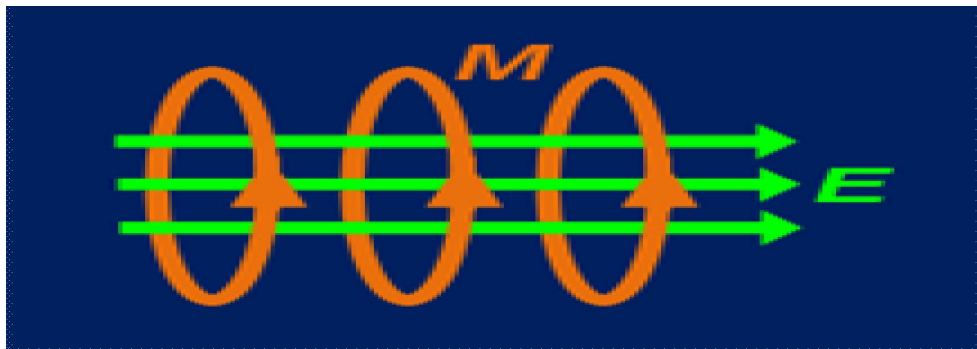
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^3} \vec{r} \quad (6.4)$$



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

Основною одиницею виміру напруженості електричного поля в системі СІ є:  $[E]=V/m(N/Cл)$

Напруженість магнітного поля - векторна фізична величина (H), 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. 6.1.



B - вектор магнітної індукції; M – вектор намагнічуваності

Рис. 6.1 Векторні магнітні силові лінії електричного поля:

Магнітна постійна ( $\mu$ ) - 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:

$$H = B - 4\pi M \quad (6.5)$$

де B – магнітна індукція; H – напруженість магнітного поля (А/м)

В системі СГС:

$$H=B-4\pi M \quad (6.6)$$

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

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 [16].

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 безпосередно 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 / ч. 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 / ч.



## 7 ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ У ЕЛЕКТРО ТА ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ ЗАПАДНИХ КРАЇН

При різних положеннях електромобілок, 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 широкосмугової, 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. 7.1.



(a) і задньому (b) сидіннях

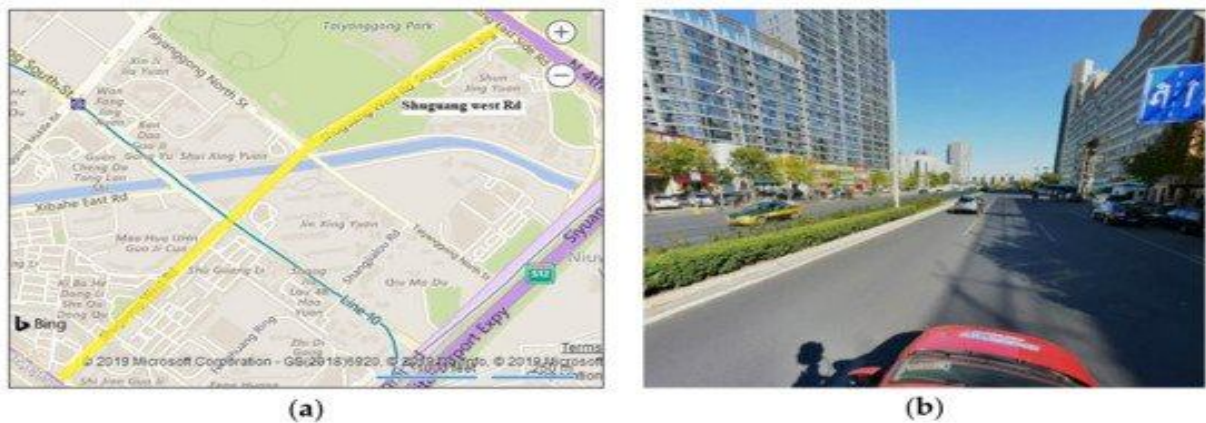
**Рис. 7.1** Розташування зондів магнітного поля (СЧ) з надзвичайно низькою частотою (ELF) на правому передньому

Всі вимірювання проводилися в двох положеннях (переднє і заднє сидіння), показаних на **малюнку 1 а**. Вимірювання в кожній позиції тривали протягом 30 с, включаючи два режими руху, 10 з прискорення зі швидкістю  $2,2 \text{ м с}^{-2}$  (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 широкосмугового і частотної областей відповідно. Під час широкосмугових вимірювань прилад взяв зразки з трьох взаємно ортогональних чутливих котушок і повідомив про компонентах вектора  $\mathbf{B}$  і загальних значеннях  $B$ . Налаштували час вибірки для широкосмугового лічильника рівним 1с. Вимірювання в частотній області повідомило про спектральних компонентах (SC) компонентів  $\mathbf{B}$  за **1**

**с.**

У більшості доступних досліджень повідомлялося про спектр EV нижче 2 кГц [7, 17, 18]. Аналогічні результати були отримані в попередньому вимірі [15-16]. У цьому дослідженні зосередилися на цій смузі частот (як для широкопasmового, 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. 7.2), а висота варіювалася в межах 5 м



(а) - карта його розташування в Пекіні, (б) зображення дороги.

Рис. 7.2 Середина тестування водіння.

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 фонових поля становила 0,03 мкТл (широкопasmове 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  $B$  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  $B$  (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  $B$  (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 широкосмугових значень показав, що не було виявлено існування взаємодії між становищем сидіння і результатами вимірювання  $B$  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  $B$  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  $B$  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. 7.3 (прискорення) і рис. 4 (рух з постійною швидкістю).



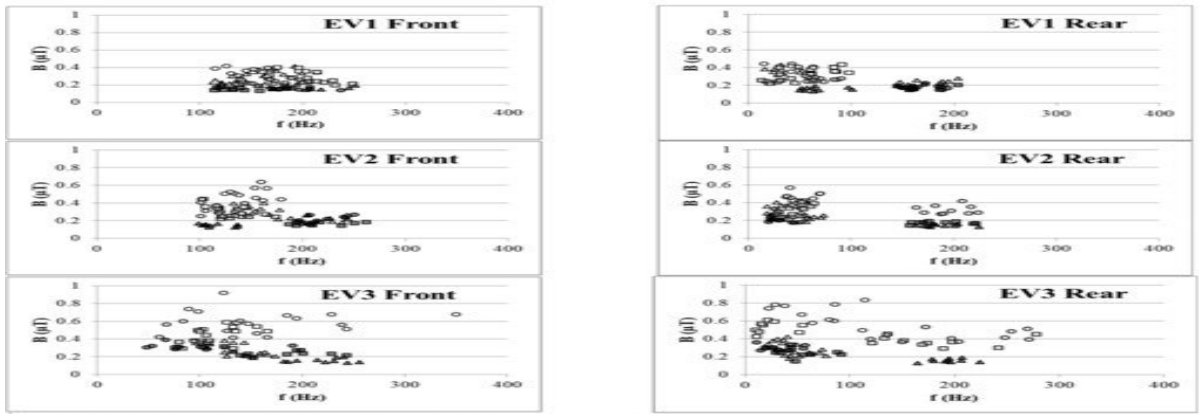


Рис. 7.3 Виміряні спектральні складові (СК) від сеансів прискорення на задніх і передніх сидіннях.

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. 7.4)..

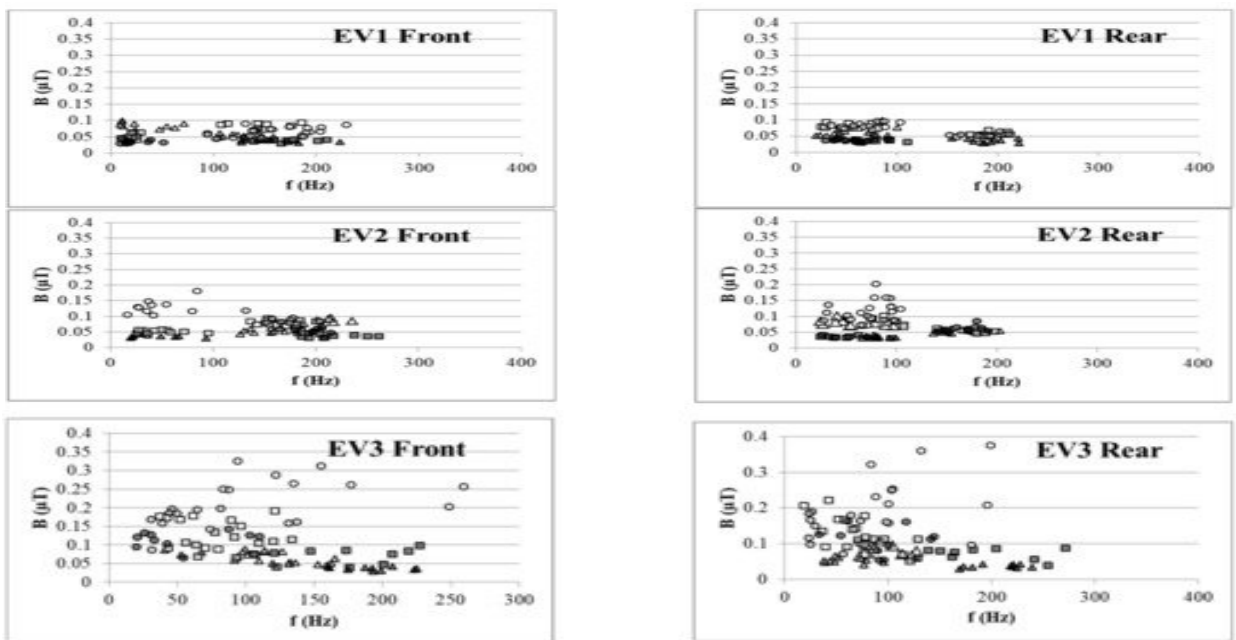


Рис. 7.4 Виміряні КА з режимів постійного руху в задніх і передніх комплектах.

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 фактичної 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 МФ 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 підсилюють ременях шин уловлювала МФ з наземного МФ 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 МФ при тривалому використанні. Було виявлено, що капітальний ремонт і заміна компонентів можуть змінити поле в салоні. МФ був змінений у всій кабіні, і тенденція не буде змінюватися зі зміною положення. Вимірювання проводилися на міській дорозі. Сила МФ навколишнього середовища контролювалася. Крім того, дорога була досить прямий, з невеликим рухом.

## 8 РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ НАПРУЖЕНОСТІ ЕМВ У ЕЛЕКТРО ТА ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ ХНАДУ



У 2019 році по ініціативи кафедр автомобільної електроніки і метрології та безпеки життєдіяльності був запрошений Павленко Анатолій Робертович, розробник захисних пристроїв від електромагнітного випромінювання, з метою спільних наукових досліджень і проведення вимірювань напруженості електромагнітних випромінювань в гібридному та інших автомобілях ХНАДУ. А. Р. Павленко привіз з собою декілька вимірювальних пристроїв та пристосувать які успішно демонстрував співробітникам ХНАДУ.

На наше прохання він спільно з фахівцями ХНАДУ виміряв приладом VEGA-12 М напруженість електромагнітних та електричних полів гібридного автомобіля в кількох точках, за якими визначили негативні явища електромагнітних випромінювань гібридного автомобіля (рис.8.1- 8.3).



Рис. 8.1 Павленко А. Р. з вимірювальним приладом VEGA - 12 М



Рис. 8.2 Вимірювання напруженості ЕМП у середині автомобіля (праве переднє сидіння пасажирів)



Рис. 8.3 Вимірювання напруженості ЕМП у середині автомобіля (заднє сидіння пасажирів)  
За результатами вимірів складена таблиця 8.

Табл. 8.1 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
акумулятор	0,02	9,45		Еп 50 В/м
пасажир-месце	0,565	15,4		

\*магнітні поля от 20 МГц – 1 ГГц: max – 0,03 А/т;  
100 кГц – 30 МГц

Як видно найбільше ЕМП спостерігаються в кабіні автомобіля, де розташований пасажир.

## ВИСНОВКИ

У дослідженні зарубіжної країни (Китай) проведено моніторинг ELF MF 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) широкосмугового доступу значно змінилося при заміні компонентів і шин, в той час як регулярні перевірки або технічне обслуговування не впливали на вимірні значення В 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 (MF) і електромагнітних випромінювань (ELF) в електромобілях, особливо після капітального ремонту або аварій, щоб захистити користувачів автомобілів від впливу MF. Необхідно суттєво оновити нормативну базу відносно безпеки для здоров'я ЕМП, яка в Україні не оновлювалась з 1996 року (Наказ МОЗ України №239 від 1.ІІ.1996 р.) із урахуванням реальної ситуації на сьогодні.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). Электромагнитные поля и общественное здравоохранение: воздействие крайне низкочастотных полей.: <http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs322/en/> (доступ 24 июня 2007 года).

2. Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP). Рекомендации по ограничению воздействия изменяющихся во времени электрических и магнитных полей (от 1 кГц до 100 кГц). *Здоровье Физ.* **2010**, *99*, 818–836.

3. Schmid, G.; Überbacher, R.; Göth, P. ELF и LF воздействие магнитного поля в гибридных и электрических автомобилях. В материалах конференции по биоэлектромагнетике, Давос, Швейцария, 9–3 июня 2009 г.

4. Stankowski, S.; Кесси, А.; Bécheiraz, O.; Meier-Engel, K.; Мейер М. Низкочастотные магнитные поля, вызванные намагничиванием автомобильных шин. *Здоровье Физ.* **2006**, *90*, 148–153. PA; Sias, G.; Смит, Дж.; Sahl, J.; Кавет Р. ЭЛЬФ Магнитные поля в электрических и бензиновых транспортных средствах. *Биоэлектромагнетизм* **2013**, *34*, 156–161.

5. Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP). Руководство по ограничению воздействия изменяющихся во времени электрических, магнитных и электромагнитных полей (до 300 ГГц). *Здоровье Физ.* **1998**, *74*, 494–522.

6. Дитрих, FM; Jacobs, WL Survey и оценка воздействия электрического и магнитного поля (EMF) на людей в транспортной среде (№ PB-99-130908 / ХАВ); Джон А., Эд.; Electric Research and Management, Inc.; Кэбот, Пенсильвания, США; Национальный центр транспортных систем Volpe: Кембридж, Массачусетс, США, 1999 г.

7. Коробейников А.Г., Исмагилов В.С., Копытенко Ю.А., Птицына Н.Г. Измерительные системы магнитных полей в электромобилях для





анализа электромагнитной безопасности // Программные системы и вычислительные методы. - 2013. - N 4(5). - С.384-396. - Библиогр.: 28 назв.

8. Курзин Н.Н. Инструментальная оценка воздействия электромагнитных полей на биообъекты // МЭСХ. - 2006. - N 11. - С.11-12.

9. Методика оценки воздействия импульсных магнитных полей на ткани организма человека / Аль-Адеми Я.Т.А., Давыдов М.В., Насонова Н.В. и др. // Приборы. - 2014. - N 12(174). - С.45-48. - Библиогр.: 9 назв.

10. Москалев Б.А. Электромагнитные поля в системах электрического транспорта // Наука и техника транспорта. - 2004. - N 4. - С.36-39.

11. Москалев Б.А., Лозин И.Г. Дозовая оценка электромагнитных излучений электроподвижного состава // Электровозостроение: сб. науч. тр. / ОАО "ВЭЛНИИ". - Новочеркасск, 2002. - Т.44. - С.294-303. - Библиогр.: 1 назв.

12. Мырова Л.О., Грачев Н.Н., Никитина В.Н. Влияние опасных излучений на человека. - М.: ООО "ВИЗАВИ", 2017. - 414 с. - Библиогр.: с.402-413.

13. Озерова Е.С. Низкие частоты - высокие риски // Мир транспорта. - 2011. - N 4(37). - С.142-144. - Библиогр.: 11 назв.

14. Селиванов С.Е., Филенко В.В., Бажинов А.В., Будянская Э.Н. Электромагнитные загрязнения биосферы автотранспортом (автомобили, электромобили, гибридные автомобили) // Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов. – 2009. – № 25. – С. 24–32.

15. ДСанПіН 3.3.6–096–2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

16. Сокол Т.С. Охрана труда: учеб.пособие. Минск: Дизайн ПРО, 2006. 304 с.

## ДОДАТОК А

### МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В САЛОНІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

#### ВСТУП

В даний час стався гігантський стрибок у розвитку технічних засобів. Більшість населення фактично живе в дуже складному електромагнітному полі (ЕМП), яке стає все важче і важче характеризувати: інтенсивність цього поля в мільйони разів перевершує рівень планетарного магнітного поля і різко відзначається своїми характеристиками від природного походження. Особливо різко напруженість полів зростає поблизу ліній електропередач (ЛЕП), радіо- і телестанцій, засобів радіолокації і радіозв'язку (в цьому числі мобільного та супутникового), різних енергетичних і енергоємних установок, гірського транспорту, електро- і гібридних автомобілів.

Електромагнітне поле впливає на генофонд і здоров'я людини. Електромагнітні хвилі здатні викликати рух елементарних частинок: електронів, іонів, протонів і молекул. У клітинах будь-якого організму (від бактерії до людини) міститься велика кількість заряджених молекул (білки, амінокислоти, фосфоліпіди і ін.). При впливі сильного електромагнітного поля (ЕМП) заряджені молекули здійснюють коливальні рухи, що може порушити роботу клітин і організму в цілому. В результаті такого впливу людина відчуває запаморочення, головний біль, безсоння, втрату уваги, відзначає погіршення концентрації уваги. Згодом ці симптоми переростають в серйозні нездужання: серцеву аритмію, коливання рівня цукру в крові, хронічні респіраторні захворювання і т. д.

Люди усвідомлюють рівень впливу електромагнітних полів і вживають заходів захисту. Все, що включається в розетку або працює від акумуляторів, випромінює електромагнітні хвилі (ЕМХ). перетин ЕМХ одного обладнання з волнами другого, будь то промислові системи або компактні пристрої, не тільки розширює область впливу, але і може вивести їх з ладу. Ключовими факторами є довжина і частота вихідних хвиль, які обумовлені будовою приладів. Тому кожен виробник повинен заміряти ЕМІ випускається їм обладнання. Для цього існують державні стандарти, нормативи, що регулюють порядок виробничого контролю, атестацію робочих місць, проводяться наукові дослідження впливу виробничих фізичних факторів (в тому числі ЕМІ) на людину.

Ось деякі стандарти і нормативи, що стосуються впливу електричних і магнітних полів:

- ГОСТ 12.1.002-84 "Електричні поля промислової частоти. Допустимі рівні напруженості і вимоги до проведення контролю";
- СанПіН 2.2.4.1191-03 "Електромагнітні поля у виробничих умовах";
- ГН 2.1.8 / 2.2.4. 2262-07 "Гранично допустимі рівні магнітних полів частотою 50 Гц в приміщеннях житлових, громадських будівель і на сільбищних територіях";
- СанПіН 2.2.4 / 2.1.8.055-96 "Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону";
- ГОСТ 12.1.045-84 "Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю".

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 званих гібридних машин 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 встережені результатами. Медицинские организации в Западной Европе и США признают опасность, которая кроется в сильных электромагнитных полях, предполагается, что они вызывают раковые ахворювання. 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 е / м поля в тканинах організму людини утворюється струм провідності. При цьому під дією хвиль низької частоти виявляється весь організм, в результаті того, що довжина низькочастотних е / м хвиль перевершує у багато разів розміри тіла людини. Сприйняття е / м дії тканинами неоднаково, так як вони різні за електричними властивостями.

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 плазмолемі нейронів проходить близько однієї тисячної частки струму провідності, який індукується 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. Действие електромагнитных полей на живой организм характеризуется также небольшим термическим эффектом. Збільшення температури відбувається, якщо поглинається потужність електромагнітної енергії більше, ніж потужність розсіювання теплової енергії організмом (тепловіддачі). (Тепло виробляється постійно в результаті обміну речовин. Тепловая 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 е / м низькочастотних полів не вивчений до кінця, наслідки неоднозначні і непередбачувані. Але знайдена зв'язок між опроміненням 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 детектувати надвисокочастотне і високочастотне зі наднизькочастотних 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.

Електромобіль спеціально розрахований на міську експлуатацію. Незважаючи на те, що він взагалі не забруднюють навколишнє середовище, ситуація з ЕМП джерелами 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.

Дослідження електромагнітних полів в електрокарах і гібридах проводяться з моменту їх появи. Причому навіть у тих країнах, де цей транспорт не сильно поширений. В огляді Інституту земного магнетизму, іоносфери і поширення радіохвиль ім. Н. В. Пушкова РАН наведені цікаві дані. Найбільш сильні поля спостерігаються в гібридах, в яких батарея розташована в багажнику і під заднім сидінням, а мотор енератор спереду. Струм тече через весь автомобіль до акумуляторів і назад. Виходить не автомобіль, а заряджений контур, який рухається в просторі і генерує електромагнітне випромінювання (ЕМВ), максимальне поле якого перебуває в області таза водія.

Фахівці Технічного університету швейцарського міста Біль прийшли до 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 в п'ять разів небезпечніше водійського. Страшно навіть уявити, яку порцію ЕМІ отримує дитина, що сидить там в дитячому кріслі.

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

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

"Не так важлива сила і величина магнітного поля, скільки його мінливість, - розповідає завідувач лабораторією моніторингу радіаційних умов середовища проживання екіпажів пілотованих станцій Інституту медико-біологічних проблем РАН, д. Т. Н Володимир Цетлін. - 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".

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

Вітчизняний СанПіН обмежує доступ до джерел ЕМХ 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.

Як впливає низькочастотне нізкофотонне випромінювання на наш організм? Воно іонізує молекули клітин, а значить, спотворює протягом хімічних реакцій 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 зростає дратівливість і агресивність. А це часто обертається незрозумілими діями на дорозі і безглуздими аваріями.

"У довгостроковій перспективі різкі зміни техногенного ЕМІ 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 ". В даний час встановлено вплив електромагнітних полів і випромінювань на всі органи людського організму.

Негативний вплив ЕМП на людину і на ті чи інші компоненти екосистем прямо пропорційні потужності поля і часу опромінення.

Тривала дія сильних ЕМП викликає у людини порушення ендокринної системи, обмінних процесів, функції головного і спинного мозгу, підвищує схильність до депресій і навіть самогубства і збільшує ймовірність розвитку серцево-судинних захворювань і ракових пухлин.

## ОЦІНКА РІВНЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ (ЕСП)

1. Розрахунок гранично допустимого рівня напруженості електростатичного поля при впливі на персонал більше однієї години замість за формулою:

$$T = \frac{50}{E^{-2}}, \quad (7.1)$$

$$E_{ПДУ} = \frac{60}{t}, \quad (7.2)$$

де  $E_{ПДУ}$  - гранично допустимий рівень напруженості поля, кВ / м;  $t$  - час впливу, ч.

Гранично допустимий рівень (ПДУ) напруженості електростатичного поля ( $E_{ПДУ}$ ) встановлюється рівним 60 кВ / м протягом 1 години.

2. Визначення допустимого часу перебування в ЕСП за формулою:

$$t_{доп} = \frac{60}{E_{факт}}, \quad (7.3)$$

де  $E_{факт}$  - фактичне значення напруженості ЕСП, кВ / м.



При напруженості ЕСП, що перевищує 60 кВ / м, робота без застосування засобів захисту не допускається, а при напруженості менше 20 кВ / м час перебування не регламентується.

3. За отриманими розрахунками робимо висновок про час роботи персонала в ЕСП, в тому числі з використанням засобів захисту.

Оценка уровня воздействия электромагнитных полей (ЭМП) различных диапазонов частот

1. Оцінка ЕМП різного діапазону частот здійснюється окремо по напруженості електричного поля (Е, кВ / м) і магнітного поля (Н, А / м) або індукції магнітного поля (В, мкТл), в діапазоні частот від 300 МГц до 300 ГГц по щільності потоку енергії (ППЕ, Вт / м<sup>2</sup>), в діапазоні частот від 30 кГц до 300 ГГц - за величиною енергетичної експозиції.

2. ЕМП промислової частоти

3. Гранично допустимий рівень напруженості ЕП на робочому місці напротязі всієї зміни встановлюється рівним 5 кВ / м [4].

4. Оцінка і нормування ЕМП промислової частоти на робочих местах персонала проводиться диференційовано в залежності від часу перебування в електромагнітному полі.

5. 1. Виконуємо розрахунок допустимого часу перебування персоналу в ЕП при напруженостях від 5 до 20 кВ / м по формуле:

$$T = \frac{50}{E^{-2}}, \quad (7.4)$$

де Е - напруженість електричного поля в контрольованій зоні (Е1, Е2, Е3), кВ/м;

Т – допустимий час перебування в ЕП за відповідного рівня напруженості, ч.

При напруженості ЕП від 20 до 25 кВ / м допустимий час перебування становить 10 хв.

Перебування в ЕП з напруженістю більше 25 кВ / м без засобів захисту не допускається.

2. Розраховуємо час перебування персоналу протягом робочого дня в зонах з різною напруженістю ЕП по формулі:

$$T_{np} = 8 \frac{tE_1 + tE_2 + tE_3 + tE_n}{TE_1 \cdot TE_2 \cdot TE_3 \cdot TE_n}, \quad (7.5)$$

де Т<sub>np</sub> - наведене час, еквівалентний за біологічним ефектом перебування в ЕП нижньої межі нормованої напруженості, ч.; t E<sub>1</sub> , t E<sub>2</sub> , t E<sub>3</sub>;

$t_{En}$  – час перебування в контрольованих зонах напруженням  $E_1, E_2, E_3, E_n$ , ч.;

$TE_1, TE_2, TE_3, TE_n$  – допустимий час перебування для відповідних зон, ч.

Проведене час не повинно перевищувати 8 год.

Різниця в рівнях напруженості ЕП контрольованих зон встановлюється в 1 кВ / м.

Вимоги дійсні за умови, що проведення робіт не связанос підйомом на висоту, виключена можливість впливу електричних розрядів на персонал, а також за умов захисного заземлення всіх ізольованих від землі предметів, конструкцій, частин обладнання, машин, механізмів, до яких можливо дотик працюють в зонах впливу ЕП.

Б2. ЕМП діапазону частот від 30 кГц до 300 ГГц

Оцінка і нормування ЕМП здійснюється за величиною енергетичної експозиції (ЕЕ).

Енергетична експозиція ЕМП визначається як добуток квадрата напруженості електричного або магнітного поля на час впливу на людину

1. Розраховуємо енергетичну експозицію в діапазоні частот від 30 кГц до 300 МГц (відповідно до завдання) за формулами:

$$EE_E = E^2 T, \quad (7.6)$$

$$EE_H = H^2 T, \quad (7.7)$$

де  $E$  - напруженість електричного поля, В / м;

$H$  - напруженість магнітного поля, А / м;

$T$  - час впливу на робочому місці за зміну, ч.

2. Розраховуємо енергетичну експозицію по щільності потоку енергії в діапазоні частот від 300 МГц до 300 ГГц за формулою:

$$EE \text{ ППЕ} = \text{ППЕ} \cdot T, \quad (7.8)$$

де ППЕ - щільність потоку енергії (мкВт / см<sup>2</sup>).

Гранично допустимі рівні енергетичних експозицій (ЕЕГДР) на робочих місцях персоналу за зміну наведені в табл.1.

Табл. 7.1

ЦДУ энергетических экспозиций ЭМП диапазона частот від 30 кГц до 300 ГГц

табл. 7.1

Параметр	ЕЕГДР в діапазонах частот, МГц				
	0,03–3,0	3,0–30,0	30,0–50,0	50,0–300,0	300,0 - 300000,0
ЭЭЕ (В/м) <sup>2</sup> ·год	2000	7000	800	-	-
ЭЭН, (А/м) <sup>2</sup> ·год	200	-	0,72	-	-
ЭЭПЭ(мкВт/см <sup>2</sup> )	-	-	-	-	200

Параметр ЭЭГДР в діапазонах частот, МГц

Максимальні допустимі рівні напруженості електричного і магнітного полів, щільності потоку енергії ЕМП не повинні перевищувати значень, представлених в табл.2.

Табл. 7.2

Максимальні ГДР напруженості і щільності потоку енергії ЕМВ діапазону частот від 30 кГц до 300 ГГц

Параметр	ЕЕГДР в діапазонах частот, МГц				
	0,03–3,0	3,0–30,0	30,0–50,0	50,0–300,0	300,0 - 300000,0
Е, (В/м) <sup>2</sup>	2000	7000	800	-	-
Н, (А/м) <sup>2</sup>	200	-	0,72	-	-
ППЭ мкВт/см <sup>2</sup>	-	-	-	-	1000

\* Для умов локального опромінення тіла людини

3. Определяем предельно допустимый уровень ЭМП для средств связи и телевизионного вещания по формуле:

4.

$$E_{ГДР} = 21 \cdot f^{-0,37}, \quad (7.9)$$

де  $E_{ГДР}$  – значення гранично допустимого рівня напруженості електричного поля, В/м;  $f$  – частота, МГц.

5. Розраховуємо гранично допустимий рівень щільності потоку енергії при локальному опроміненні тіла людини за формулою:

$$ППЭГДР = \frac{K \cdot ЭЭППЭГД}{T}, \quad (7.10)$$

де  $ЭЭ ППЭГДР$  – гранично допустимий рівень енергетичної експозиції потоку енергії, що дорівнює  $200 \text{ мкВт/см}^2$  (табл.1.1);

$ППЭ ГДР$  – гранично допустимий рівень щільності потоку енергії кГц-МГц;

$K$  – коефіцієнт ослаблення біологічної ефективності, що дорівнює 12,5;

$T$  – час перебування в зоні опромінення за робочий день (робочу зміну), год.

Гранично допустимі рівні напруженості електричної і магнітної складових наведені у табл.7.3.

Табл. 7.3

Гранично допустимі рівні напруженості електричної і магнітної складових в діапазоні частот від 30 кГц до 300 МГц в залежності від тривалості впливу

Тривалість дії, Т, год	ЕГДР, В / м			НГДР, А/м	
	0,03-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0,03-3	30-50
8,0 та більше	50	30	10	5,0	0,30
7,5	52	31	10	5,0	0,31
7,0	53	32	11	5,3	0,32
6,0	58	34	12	5,8	0,34
5,0	63	37	13	6,3	0,38
4,0	71	42	14	7,1	0,42
3,0	82	48	16	8,2	0,49
2,0	100	59	20	19,0	0,60
1,0	141	84	28	14,2	0,85
0,08 та менше	500	296	80	50,0	3,0

При одночасному або послідовному опроміненні персоналу від джерел, які працюють в безперервному режимі, і від антен, що випромінюють в режимі кругового огляду і сканування, сумарна ЕЕ розраховується за формулою:

$$\text{ЭЭ ППЭсум} = \text{ЭЭ ППЭн} + \text{ЭЭ ППЭпр} , \quad (7.11)$$

де ЭЭ ППЭсум – сумарна ЕЕ, яка не повинна перевищувати 200 мкВт / см<sup>2</sup>год;

ЭЭ ППЭн – ЭЭ, створювана безперервним випромінюванням;

ЭЭ ППЭпр – ЭЭ, створювана переривчастим випромінюванням обертових або скануючих антен, що дорівнює  $0,1 \cdot \text{ППЭпр} \cdot T$  пр.

6. Значення напруженості електричної складової ЕМП в діапазоні часу вимірювання -  $E(t)$  визначте зі співвідношення

$$E(t) = E_{\max} \cdot f(t), \quad (7.12)$$

де  $E_{\max}$  – амплітудне значення електричної складової електромагнітного поля, кВ/м;

$f(t)$  – функція зміни напруженості ЕМП в часі, складова для 10%, 50%, 90% максимального амплітудного значення 0,1; 0,5 и 0,9 відповідно.

7. У разі проведення контролю інтенсивності ІЕМП по напруженості магнітної складової для подальшої оцінки електромагнітної обстановки на відповідність ПДУ ІЕМП виробляємо перерахунок отриманих величин в значення напруженості електричної складової ІЕМП за формулою:

$$E(t) = R \cdot H(t), \quad (7.13)$$

де  $E(t)$  – функція напруженості електричної складової ІЕМП від часу ( $t$ ), В/м;  $H(t)$  – функція напруженості магнітної складової ІЕМП від часу ( $t$ ), А/м;  $R$  – хвильовий опір вільного простору, прийняте рівним 377 Ом.

## ЗАХИСТ ВІД ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Захист від випромінювань і електромагнітних полів в нашій країні регламентується Законом України «Про охорону навколишнього середовища», а також рядом нормативних документів (ГОСТи, СанПіН, СН і ін.).

З метою попередження несприятливого впливу на стан здоров'я виробничого персоналу об'єктів і населення ЕМП в тому числі і імпульсних використовують комплекс заходів, що включає в себе проведення організаційних, інженерно-технічних і лікувально-профілактичних заходів.

Основний спосіб захисту населення від можливого шкідливого впливу ЕМП ЛЕП - створення охоронних зон шириною від 15 до 30 м залежно від напруги ліній електропередачі. На відкритій місцевості застосовують тросові екрани, залізобетонні огорожі, висаджують дерева висотою понад 2 м.

Організаційні заходи включають:

- виділення зон впливу ЕМП (з рівнем, що перевищує ПДК з огорожею і позначенням відповідними попереджувальними знаками);
- вибір раціональних режимів роботи обладнання;
- розташування робочих місць і маршрутів пересування обслуговуючого персоналу на відстанях від джерел ЕМП, що забезпечують дотримання ПДУ;
- ремонт обладнання, що є джерелом ЕМП, слід проводити по можливості поза зоною впливу полів від інших джерел;
- організацією системи оповіщення про роботу джерел ІЕМП;
- розробка інструкції з безпечних умов праці при роботі з джерелом ІЕМП;
- дотримання правил безпечної експлуатації джерел ЕМП.

Інженерно-технічні заходи включають:

- раціональне розміщення обладнання;
- організація дистанційного керування апаратурою;
- заземлення всіх ізольованих від землі великогабаритних об'єктів, включаючи машини та механізми, металеві труби опалення, водопостачання і т. д., а також вентиляційні пристрої;
- використання коштів, які обмежують надходження електромагнітної енергії на робочі місця персоналу (поглиначі потужності, екранування окремих блоків або всієї випромінює апаратури, робочого місця, використання мінімальної необхідної потужності генератора, покриття стін, підлоги і стелі приміщень радіопоглинаючими матеріалами);
- застосування засобів колективного та індивідуального захисту (захисні окуляри, щитки, шоломи; захисний одяг - комбінезони та костюми з

капюшонами, виготовлені зі спеціальної електропровідній, радіоотражаючої або радіопоглощаючої тканини; рукавиці або рукавички, взуття). Всі частини захисного одягу повинні мати між собою електричний контакт.

Лікувально-профілактичні заходи:

- всі особи, професійно пов'язані з обслуговуванням і експлуатацією джерел ЕМП, в тому числі імпульсних, повинні проходити попередній при вступі на роботу (відбір для осіб для роботи з імпульсними джерелами) і періодичні профілактичні медогляди відповідно до чинного законодавства;

- особи, які не досягли 18-річного віку і вагітні жінки допускаються до роботи в умовах виникнення ЕМП тільки у випадках, коли інтенсивність ЕМП на робочих позначках не перевищує ПДК, встановлений для населення;

- контроль за умовами праці, за дотриманням санітарно-епідеміологічних правил і нормативів на робочих місцях;

- проведення профілактичних і лікувальних заходів, спрямованих на запобігання виникненню несприятливих змін стану здоров'я персоналу, загострення наявних хронічних захворювань, розвитку професійних захворювань, обумовлених впливом ІЕМП;

- особи, що мають медичні протипоказання, до роботи з джерелами ІЕМП не допускаються.

## ВИСНОВКИ

Електромагнітна обстановка на обстежуваному робочому місці персоналу РТО ІЕМП не відповідає вимогам Державних санітарних правил [8]. Для зниження амплітудного значення напруженості ІЕМП до ПДУ слід провести комплекс технічних і організаційних заходів.

Наступна методика може використовуватись для вимірювання напруженості електромагнітного поля в салоні електро, гібридних та інших видів транспорту.

