ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В.О. Нічога[1,2], П.Б. Дуб[1], Е.М. Грудзінський[3], Л.І. Сопільник[2,4], С.В. Каракай[4]

[1]Фізико-механічний інститут
ім. Г. В. Карпенка НАН України
Львів, вул. Наукова, 5
E-mail: nich@ah.ipm.lviv.ua
[2]Національний університет
"Львівська політехніка"
Львів, вул. Бандери, 12
[3]Технічний університет
"Вроцлавська політехніка"
Польща, Вроцлав, вул. Виспянського, 27
E-mail: gienek@zr.ita.pwr.wroc.pl
[4]Науково-дослідний центр безпеки
дорожнього руху
Міністерства внутрішніх справ України, Київ,
вул. Інститутська, 29а

У доповіді розглянуті питання створення апаратурної бази для вимірювання техногенних електромагнітних полів у широкому частотному діапазоні. Наведені результати досліджень таких полів у житлових і робочих відсіках космічних орбітальних станціях, у салонах легкових автомобілів, на залізничних коліях, для виявлення забруднення довкілля довгохвильовими радіостанціями та високовольтними лініями електропередач.

Вступ. Швидкий розвиток за останні десятиріччя систем електроенергетики, телекомунікацій, телебачення, радіолокації, а також великої кількості електронних пристроїв у медицині, промисловості та домашньому господарстві призвів до поступового зростання інтенсивності техногенних електромагнітних полів (ЕМП) на робочому місці, у побуті та в довкіллі [1-5].

Проблема впливу техногенних ЕМП полів на людський організм все ще вивчена недостатньо [1].

Останнім часом з'явилася низка публікацій, які свідчать про вплив техногенних ЕМП на водіїв автомобілів, що призводить до зростання дорожньо-транспортних аварій [6], вплив випромінювання побутових приладів [4], вплив випромінювань електрорадіоапаратури на життєдіяльність космонавтів [7,8]. У зв'язку з цим ще гострішою стає проблема коректного вимірювання цих ЕМП, застосування і розробки відповідної електрорадіовимірювальної апаратури [4,8,9]. Одночасно постає питання порівняння виміряних значень напруженостей компонент ЕМП з чинною нормативною документацією, яка регламентує гранично допустимі рівні полів з точки зору їх безпечного впливу [10-12].

Плідна співпраця Фізико-механічного інституту НАН України, Національного університету "Львівська політехніка", Технічного університету "Вроцлавська політехніка" (Польща) та Науково-дослідного центру безпеки дорожнього руху МВС України привела до розробки і створення цілої низки приладів, пристроїв, методичних рекомендацій та проектів нормативної документації, які дозволяють проводити дослідження техногенного електромагнітного забруднення довкілля і, таким чином, провести оцінку ризику негативного впливу на людський організм у випадку, коли інтенсивність цих ЕМП перевищує гранично допустимі норми (ГДР) [11-13].

1. Особливості проведення вимірювань техногенних ЕМП. Ризик бути опроміненим електромагнітним полем на робочому місці, а також у навколишньому середовищі, що в кінцевому випадку може призвести до погіршення стану здоров'я людини, спричинив прийняття в більшості країн ГДР напруженості поля для охорони працюючих і населення [1,2,5]. ГДР можуть бути у вигляді стандартів або санітарних норм і правил. У зв'язку з цим існує нагальна потреба проведення вимірювань ЕМП на робочих місцях або довкіллі. Реальність перевищення значень ГДР у значній мірі залежить від вибору простої, надійної і вірогідної методики вимірювань. Ці вимірювання є специфічними, а результати вимірювань дуже часто обтяжені значними похибками, які залежать як від апаратури, що використовується, так і від методики вимірювань.

Проведення цих вимірювань є важкою задачею з кількох причин. Однією з них є те, що не завжди є можливість знайти параметри джерела випромінювання, а іноді навіть його місцезнаходження, не кажучи про його характер і структуру поля.

Специфіка вимірювань у згаданих умовах полягає в тому, що випромінюючі джерела дуже часто знаходяться безпосе-

середньо біля людини, тобто в його ближній зоні (зоні індукції) [14]. Слід також зазначити, що в багатьох випадках випромінюючі джерела зв'язані з проходженням в них сильних струмів, тобто їх поле є за своїм характером переважно магнітним, а через знижене (у порівнянні з дальньою зоною) значення характеристичного імпедансу середовища в полі індукції, величина адсорбованості органічним матеріалом (оператором-людиною) потужності збільшується [15].

Техногенне ЕМП, яке є причиною небезпеки навколишньому середовищу, фактично виступає як ближнє індукційне поле. Тут електричну E і магнітну H складові необхідно вимірювати окремо на відміну від дальнього поля, де по одній виміряній складовій можна через хвилевий імпеданс середовища знайти іншу. Вектор Пойнтінга в ближньому полі є комплексною величиною, його напрям залежить від структури джерела випромінювання і віддалі від джерела. В ближньому полі є складні фазові залежності між електричною E і магнітною H складовими. У залежності від відношення E/H ближнє поле може бути високоімпедансним (електричним, $Z_E=E/H>120\pi$), або низькоімпедансним (магнітним, $Z_E= E/H<120\pi$).

Точність вимірювання визначають не тільки малі розміри антени (зонда) по відношенню до довжини хвилі, але і найменша віддаль до джерела, на якій виконується вимірювання. Розміри антени вибираються на основі компромісу, який з одного боку, враховує вимоги точності вимірювань при заданій віддалі від джерела, а з іншого – необхідну чутливість, стабільність і точність вимірювального пристрою. Узгодження антени (зонда) вимірювального пристрою з джерелом, присутність навколо вимірювача і антени різних предметів зі змінною формою та інших чинників, як, наприклад, багатопелюстковість діаграми спрямованості зонда має великий вплив на точність вимірювань. Вплив різних чинників призводить до того, що похибка вимірювань у ближньому полі може бути суттєвою (близько 50%) [16].

Приступаючи до вибору методу вимірювань ЕМП в ближній зоні найперше потрібно визначити ті величини, які будуть характеризувати це поле, у відповідності з метою вимірювань. Якщо йдеться про біологічний вплив на людину, то тут треба говорити про вимірювання таких величин як: напруженість електричної складової поля E, В/м; напруженість магнітної складової поля H, А/м; потужність випромінювання джерела P, Вт; густина потоку енергії джерела P_E, Вт/м^2; потужність, яка виділяється в одиниці маси об'єкту P_m, Вт/кг; потужність, яка виділяється в одиниці об'єму об'єкту P_V, Вт/м^3; енергія, що абсорбується в одиниці маси об'єму об'єкту E_m, Дж/кг; зміна температури в об'єкті під впливом поля Δt, К; струм, що індукується в об'єкті під дією поля I, А. При цьому потрібно враховувати вплив поляризації випромінювання, частоту, модуляцію і час впливу на біооб'єкт.

Якщо говорити про наукові дослідження, то всі ці величини мають істотне значення, так само, як і при експериментальній оцінці біологічної активності і враження біооб'єктів дією ЕМП. У практичній діяльності, особливо, коли йдеться про вплив на біооб'єкти відносно низьких частот (≤400÷500 кГц) вимірювання усіх цих параметрів, крім E і H, зайве.

Згідно з нормативною документацією (НД), що обов'язкова в Україні [13] та Польщі [17], оцінка ЕМП спирається на прийнятті ГДР напруженостей електричного E та магнітного полів H і густини потоку енергії на квадратний метр P_E (у відповідних частотних діапазонах).

2. Характеристика первинних перетворювачів ЕМП. ЕМП не може бути виміряне безпосередньо. З цієї причини вхідною ланкою будь-якого вимірювача магнітного поля є первинний перетворювач напруженості магнітного або електричного поля у параметр, який може бути виміряний безпосередньо. Найчастіше таким параметром є напруга або струм.

Більшість вимірювачів напруженості електричного або магнітного полів, що рекомендуються НД для визначення рівнів полів, використовують малі дипольні електричні або магнітні антени. Оскільки вимірювання техногенних полів у більшості випадків проводиться в ближній (індукційній) зоні, конкретніше треба говорити про електричні чи магнітні давачі або зонди. Зонди вимірювачів електричної і магнітної складових поля повинні відповідати певним вимогам, основними з яких є: 1) чутливість, 2) смуга частот, 3) динамічний діапазон, 4) точність.

3. Технічні аспекти вимірювань. Вимірювання техногенних ЕМП може прово-

дитися як селективними, так і широкосмуговими вимірювачами, що обґрунтовується відповідною НД.

Широкосмугові вимірювання дуже прості, швидкі і в більшості випадків не викликають труднощів. Одночасно інтерпретація результатів вимірювань може викликати значні труднощі, особливо при порівнянні одержаних результатів з ГДР на границях діапазонів частот, де значення ГДР може змінюватися стрибкоподібно. Широкосмугові вимірювання утруднюють, або взагалі унеможливлюють ідентифікацію джерел випромінювання, а це є одним з недоліків цього методу.

Селективні вимірювання, які найчастіше виконуються апаратурою, що рекомендується НД, є складнішими, і не завжди за їхніми результатами можна оцінити відповідність виміряних значень E або H величинам ГДР, які нормуються в певних границях, чи ділянках частотного діапазону.

Щоб коректно оцінити стан небезпеки середовища потрібно визначити просторовий розподіл напруженості поля, особливо, навколо джерела випромінювання. Апріорі є невідоме розташування вектора напруженості поля в просторі, і тому сама методика виконання вимірювань може бути джерелом значних похибок. У зв'язку з цим, на самому початку вимірювань треба знайти таке положення давача, при якому покази вимірювача будуть максимальні. Відповідно до деяких норм вимірювання поля в середовищі, або на робочому місці потрібно провести у трьох взаємно перпендикулярних напрямках простору і тоді результатом вимірювань буде модуль напруженості поля. Просторовий розподіл поля невідомого джерела може суттєво відрізнятися від взірцевого поля плоскої хвилі, в якому, наприклад, був прокалібрований давач вимірювача. З цієї причини похибка більшості прецизійних вимірювачів поля у дальній зоні (зоні випромінювання) не перевищує 10%, у той час як при вимірюванні в близькому полі (зона індукції) похибка вимірювань може бути 20÷50% [9,16].

4. Апаратура для визначення інтенсивності техногенного випромінювання. У державних санітарних нормах і правилах захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань [13] подано перелік приладів, рекомендованих для вимірювання рівнів ЕМП, основними з яких є: 1) вимірювач напруженості ближнього поля NFM-1 (ФРН); частотний діапазон по E: 50 Гц, 60 кГц÷350 МГц, по H: 10 кГц÷10 МГц; 2) вимірювачі напруженості П3-15, П3-16, П3-17, П3-21 (Росія); частотний діапазон по E: 10 кГц÷300 МГц, по H: 100 кГц÷10 МГц; 3) вимірювач напруженості радіоперешкод FSM-6 (ФРН); частотний діапазон по E і H: 0,1÷30 МГц; 4) вимірювач напруженості радіоперешкод FSM-8 (ФРН); частотний діапазон по E: 30÷1000 МГц.

Варто зазначити, що вказані прилади не перекривають весь діапазон частот, особливо на низьких частотах, починаючи з f=2 Гц до f=10 кГц по електричній і магнітній складових. Використання зазначених приладів дозволяє провести селективне вимірювання на будь-якій з частот робочого діапазону. Похибка кожного з цих приладів є різною, не кажучи вже про сумарну похибку вимірювань на робочому місці, про що вже було сказано раніше.

Як показано в [18] селективні вимірювання є неприйнятними при проведенні вимірювань техногенних ЕМП і порівнянні результатів вимірювань з нормативною базою, у якій ГДР випромінювань нормуються по діапазонах частот [12,13,17].

У зв'язку з зазначеним в лабораторії еталонів і метрології ЕМП Вроцлавської політехніки [18] була розроблена низка широкосмугових спеціалізованих зондів для вимірювання складових електричного і магнітного поля на основі використання малих дипольних електричних і рамкових магнітних антен з безпосереднім детектуванням сигналу на затискачах вимірювального зонду (антени) і передачею постійної складової прямо на вимірювач типу МЕН-1. У цьому випадку метрологія ЕМП в заданих діапазонах частот проводиться одним вимірювачем МЕН-1 і кількома змінними антенами (фактично "точковими" зондами), які розраховані на певні смуги частот, на яких є регламентовані НД гранично допустимі рівні випромінювання. Застосування малих дипольних електричних та малих рамкових магнітних антен у вимірювачах ЕМП типу МЕН-1 дозволяє уникнути багатьох похибок при вимірюваннях, що виникають як через усереднення поля на вимірювальній антені, так і через спотворення вимірювального поля, яке спричиняє ця антена.

На рис. 1 і 2 показані нормовані АЧХ $T(jf)$ кількох електричних і кількох магнітних антен-зондів, що працюють з вимірювачем типу МЕН [18].

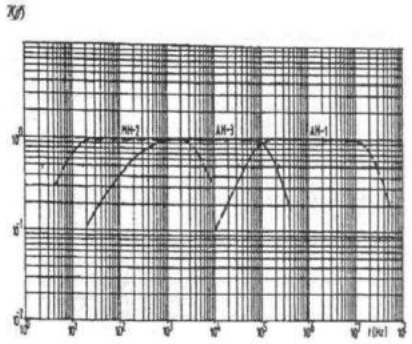


Рис. 1–Унормовані частотні характеристики вимірювача типу МЕН-1 з зондами магнітного поля типу МН-2 (20÷2000 Гц), АН-3 (1÷100 кГц) і АН-1 (0,1÷10 МГц)

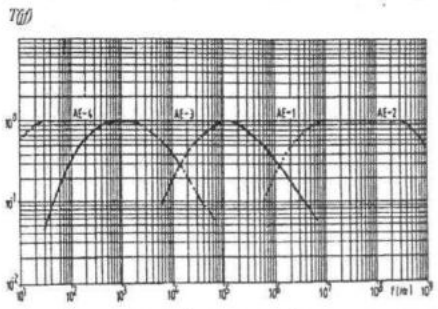


Рис. 2–Унормовані частотні характеристики вимірювача типу МЕН-1 з зондами електричного поля типу АЕ-4 (20÷1000 Гц), АЕ-3 (1÷100 кГц), АЕ-1 (0,1÷300 МГц) і АЕ-2 (10÷300 МГц)

У таблиці представлені параметри деяких вибраних зондів електричного і магнітного полів, розроблених у лабораторії взірців та метрології ЕМП Вроцлавської політехніки [9,18].

Таблиця. Параметри зондів для вимірювального приладу МЕН-1

Тип зонду	Вимірюване поле	Діапазон частот	Діапазон вимірюваних ЕМП
АЕ-НР	Е	0,1÷30 МГц	0,1÷10 В/м
АЕ-1	Е	0,1÷300 МГц	2÷1000 В/м
АЕ-2	Е	10÷300 МГц	0,5÷25 В/м
АЕ-3	Е	1÷100 кГц	5÷1000 В/м
АЕ-4	Е	10÷1000 Гц	1÷30 кВ/м
АН-1	Н	0,1÷10 МГц	1÷250 А/м
АН-2	Н	10÷30 МГц	1÷250 А/м
АН-3	Н	1÷100 кГц	1÷250 А/м
МН-2	Н	20÷2000 Гц	0,2÷300 А/м

На рис. 3 представлено зовнішній вигляд зондів типу АЕ і АН, які працюють у різних частинах діапазону.

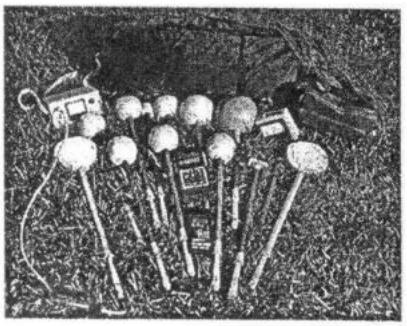


Рис.3–Зовнішній вигляд зондів типу АЕ і АН

Слід зазначити, що смуги пропускання всіх зазначених зондів типу АН і АЕ відповідають смугам пропускання, в яких нормуються ГДР ЕМП НД Польщі [17]. Рівень мінімально вимірюваної напруженості становить 100 мВ/м для електричного поля та 10 мА/м для магнітного поля. Чутливість по магнітному полю G вимірювача типу МЕН-1 на частотонезалежній "плоскій" частині АЧХ з зондом типу МН-2 становить 0,5 В/А/м, АН-3 – 0,2 В/А/м, АН-1 – 0,2 В/А/м. Чутливість по електричному полю, тобто діюча висота h, вимірювача типу МЕН-1 на частотонезалежній "плоскій" частині АЧХ з зондом типу АЕ-4 становить 0,002 м, АЕ-3 – 0,1 м, АЕ-1 – 0,1 м, АЕ-2 – 0,4 м.

Аналіз проведених в [9,18] досліджень показує, що однією з основних вимог метрології полів близьких джерел є незалежне вимірювання обох складових поля E і H. Крім цього, вимірювання повинні бути "точковими".

На рис. 4 наведені результати вимірювання електричної складової довільного джерела ЕМП на низьких частотах різними вимірювачами при зміні віддалі від нього [18]: крива 1 відповідає результатам вимірювання вимірювачем типу МЕН-1 з електричним зондом типу АЕ-НР ($l_{диполя} \cong 20$ см) (Польща); крива 2 відповідає результатам, отриманим вимірювачем типу LZM-5 з рамковим зондом RAL-5 ($d_{рамки} \cong 60$ см) (Польща – Німеччина); крива 3 відповідає результатам, отриманим вимірювачем типу ВВН-1100 виробництва США з феритовою антеною довжиною близько 60 см; крива 4 відповідає результатам, отриманим вимірювачем типу ADA-120 (США) з електричною штировою антеною довжиною близько 1 м.

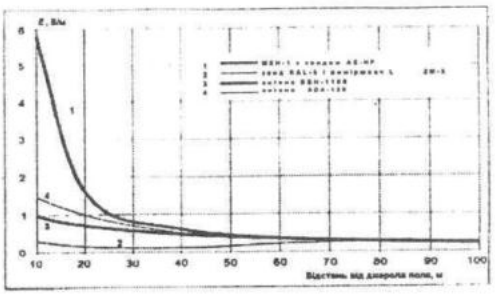


Рис. 4–Результати вимірювання електричної складової довільного джерела ЕМП на низьких частотах різними вимірювачами при зміні віддалі від нього

Усі чотири вимірювачі були прокалібровані у взірцевому електричному полі лінії ТМ з напруженістю E (прилади 1 і 4) і відповідному взірцевому магнітному полі напруженістю $H = E/120\pi$ (прилади 2 і 3).

Оскільки всі прилади були прокалібровані в одиницях напруженості електричного поля, то всі вони в полі лінії ТМ покажуть однакове значення рівне E у В/м, не дивлячись на те, що 1 і 4 прилади мають електричні зонди, а 2 і 3 – магнітні зонди.

Коли всі згадані чотири вимірювачі почали вимірювати поле довільного джерела на різних віддалях від нього, то були отримані результати представлені на рис. 4. Зауважимо при цьому, що поблизу джерела (при $r \langle\langle \lambda$) поле має складну просторову структуру і мінімальні похибки повинні бути отримані "точковими" зондами, у яких $l_{зонда} \langle\langle \lambda$ і $l_{зонда} \langle\langle r$, де r – віддаль від точки вимірювання до джерела поля.

Аналіз результатів, представлених на рис. 4, показує, що 2 і 3 вимірювачі (з магнітними зондами) дають суттєво менші значення напруженості поля в порівнянні з 1 і 4 вимірювачами. Пояснюється це тим, що в ближньому електричному полі $E/H \rangle 120\pi$, а в ближньому магнітному полі $E/H \langle 120\pi$. На перший погляд, вимірювач типу ADA-120 (4 крива рис. 4) повинен був би показати виміряне значення напруженості електричного поля близьке до приладу МЕН-1 (крива 1 рис. 4). Але внаслідок того, що зонд приладу 4 має значно більшу довжину, ніж зонд приладу 1, та інтегрує значення E по своїй довжині, його покази суттєво менші. Найточнішими будуть значення напруженості поля E, які отримані приладом МЕН-1 з коротким електричним зондом [18].

Таким чином, усі ці зауваження повинні враховуватися при метрології ЕМП на близьких віддалях від джерела.

Враховуючи те, що зараз ринок вимірювальних приладів для метрології ЕМП дуже насичений, вимірювальні прилади мають різноманітні схемні розв'язання, вимірюють різні параметри поля і проходять калібровку в різних умовах, домогтися суттєвого зниження похибки вимірювань, особливо в ближньому полі, важко сподіватися. Щоб забезпечити правильність і порівняльність результатів вимірювань ЕМП варто було б обладнати всі служби і метрологічні лабораторії відповідними і однаковими вимірювальними приладами. На жаль, як видно з наведених вище відомостей, прилади, якими зараз користуються не тільки в Україні, а й поза її межами, мають різні технічні характеристики, і не завжди відповідають як існуючим, так і новим нормативним документам, як вітчизняним, так і міжнародним.

5. Деякі приклади моніторингу техногенних ЕМП різних об'єктів.

5.1. Вимірювання магнітного поля в модулях орбітальної станції "Мир". Вимірювання магнітних полів (МП) проводилися з допомогою портативної переносної прямо показуючої інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) з автономним живленням, на вході якої був під'єднаний індукційний магнітний давач серії "Каскад". Ця ІВС призначена для вимірювання, аналізу та документування змінних магнітних полів у діапазоні частот 3 Hz – 75 kHz і складається з двох блоків: 1) портативного (бортового) вимірювального модуля, який призначений для прямих вимірювань та аналізу магнітних полів і складається з спектрального аналізатора (СА) на основі модульного прецизійного шумоміру моделі 2231 фірми "Брюль і К'єр" та індукційного давача (ІД) "Каскад" (рис.5) та 2) стаціонарного модуля, що призначений для перевірки та калібровки індукційного давача "Каскад" і складається з верифікаційно-вимірювальної консолі з генератором пілотних сигналів і калібратора по полю (рис.6).

Індукційні давачі серії "Каскад" і стаціонарний модуль були розроблені, виготовлені та випробувані у Фізико-механічному інституті Національної академії наук України [7,8,19].

Дослідження змінних магнітних полів

(МП) включали вимірювання магнітної індукції В в усіх житлових відсіках базового блоку і цільових модулях станції "Мир" у частотному діапазоні від 2 Hz до 70 kHz. Завдяки використанню ІВС на базі шумоміра моделі 2231 реєструвалися рівні МП в одиницях dBpT. Методика вимірювання полягала у послідовному визначенні в досліджуваній точці кожної просторової компоненти вектора магнітної індукції (B_X, B_Y, B_Z) при орієнтації індукційного давача (ІД) уздовж відповідної осі модуля.

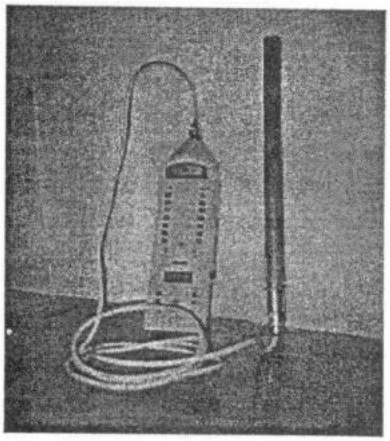


Рис. 5–Загальний вигляд портативного модуля з індукційним давачем "Каскад"

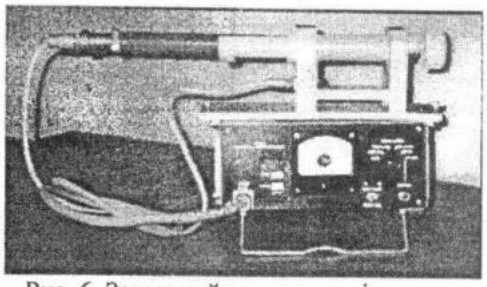


Рис. 6–Загальний вигляд стаціонарного модуля для перевірки і калібровки індукційного давача "Каскад"

На рис. 7 показаний фрагмент вимірювань МП.

Під час кількох експедицій на стаціонарі "Мир" було виконано понад 20 серій вимірювань для оцінки рівнів і спектрів B, які дозволили оцінити уперше в світовій практиці змінних магнітних полів у житлових відсіках станції в умовах польоту. Ставилася, перш за все задача виявити зони з підвищеними рівнями полів, тому реєструвалися тільки значення, які перевищують поріг приблизно на 55 dBpT. Як правило, вимірювався спектр кожної компоненти (B_X, B_Y, B_Z). Максимальні по всіх серіях вимірювань значення рівнів модуля B подані на рис. 8.

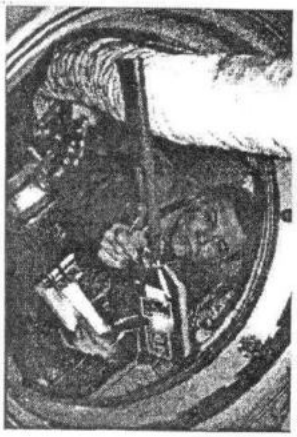


Рис. 7–Космонавт Серебров проводить вимірювання магнітного поля з давачем "Каскад" у зоні люка базового модуля станції "Мир" [20]

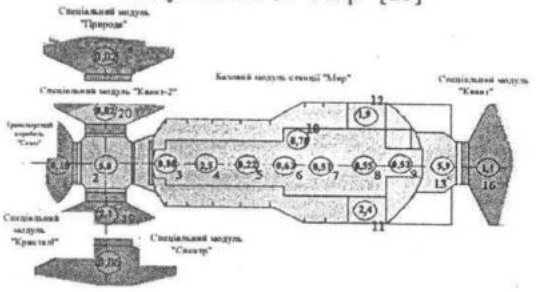


Рис. 8–Найвищі рівні магнітної індукції, які були зареєстровані в модулях орбітальної станції "Мир"

Точки вимірювання:1 – транспортний корабель "Союз", 2 – центральний відсік, 3 – люк з перехідного відсіку до робочого відсіку, 4 – центральний пост над приладами, 5 – панель бортового комп'ютера, 6 – панель медичної шафи, 7 – робочий стіл, 8 – бігова доріжка, 9 – люк з робочого відсіку в перехідну камеру, 10 – панель трансформатора струму, 11 – ліва каюта, 12 – права каюта, 13 – перехідна камера у модуль "Квант", 16 – спеціальний модуль "Квант", 20 – спеціальний модуль "Квант-2", 29 – спеціальний модуль "Кристал"

Проведені дослідження виявили досить значні відмінності рівнів і спектральних складів змінних МП в об'ємі житлових відсіків орбітальної станції "Мир", а також їхні суттєві зміни протягом польоту.

Рівні магнітної індукції становили до одиниць нТл у відсіках і модулях станції, які найбільше насичені обладнанням, до кількох мкТл поблизу найсильніших бортових джерел полів.

5.2. Вимірювання магнітних полів у салонах легкових автомобілів. Питанню дослідження впливу електромагнітних полів на водіїв присвячені низка робіт [6,21,22]. У згаданих дослідженнях до уваги беруть

тільки зовнішні як техногенні, так і природні електромагнітні поля. Ці зовнішні поля, не дивлячись на те, що сам кузов автомобіля дещо зменшує їхній вплив, безперечно впливають на самопочуття водіїв. Разом з тим, водій під час руху перебуває під впливом внутрішніх локальних джерел електромагнітного поля автомобіля, яке створюється його електрообладнанням.

У зв'язку з вищесказаним виникла задача провести вимірювання низькочастотних магнітних полів автомобіля. Ці вимірювання передбачали [21]:

- визначення рівня МП в автомобілі у місцях їх впливу на водія і пасажирів;
- порівняння результатів вимірювань різних марок автомобілів;
- порівняння отриманих рівнів МП з санітарно-гігієнічною нормативною базою;
- виявлення в автомобілі зон з підвищеним рівнем МП;
- випробування придатності ІВС "Каскад" для проведення вимірювань.

Слід відзначити, що аналіз джерел [6,21] показує, що обладнання автомобіля генерує переважно низькочастотні та інфранизькочастотні МП. Об'єкти впливу (у першу чергу, водій) знаходяться безпосередньо біля джерел випромінювання, у ближній зоні. У цьому випадку можна застосовувати квазістаціонарний підхід: тобто розглядати окремо вплив магнітної або електричної складових поля.

Враховуючи результати досліджень [22], основну увагу було звернуто на вимірювання магнітної складової поля, оскільки зазначені джерела по суті є магнітними низькоомними випромінювачами і вся енергія електрообладнання автомобіля зосереджена, в основному, в магнітних складових поля.

Для вимірювання магнітних полів автомобіля був використаний ІВС "Каскад", окремі блоки якого, а саме ІД і СА для зручності проведення вимірювань були розміщені на вимірювальній штанзі (див. рис.11).

Для дослідження було вибрано 9 випадкових автомобілів різних потужностей, марок та термінів експлуатації [21]. Оскільки основним критерієм був біологічний вплив полів, місця проведення вимірювань в автомобілі вибиралися в зонах найімовірнішого перебування людей: з боку водія – на підлозі (зона 2), 30-50 см від підлоги (зона 3), переднє сидіння водія (зона 4), переднє вітрове скло перед водієм (зона 5), на кермі (зона 6), на задньому сидінні (зона 7); з боку пасажира – на підлозі, 30-50 см над підлогою, переднє сидіння, заднє сидіння (зони 8-11 відповідно). Крім цього проводилися вимірювання індукції магнітного поля в підкапотному просторі (зона 1). Слід зазначити, що вимірювання носили оціночний характер, для порівняння індукції МП різних автомобілів, а визначення рівнів полів проводилося при малих обертах двигуна. При вимірюваннях фіксувалося середнє арифметичне показів через секундний інтервал, а ІД орієнтувався на максимум сигналу. На рис. 12 показано вимірювання МП в салоні автомобіля. Вимірювання проводилося в заміській зоні, де інтегральний рівень зовнішніх завад був низьким.

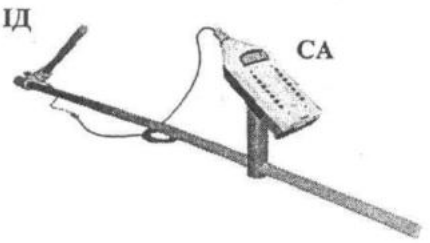


Рис.11–ІВС "Каскад" для діагностики магнітних полів автомобіля, встановлена на вимірювальній штанзі

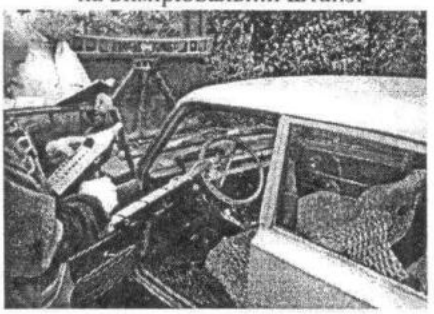


Рис.12–Вимірювання магнітного поля у салоні автомобіля з допомогою ІВС "Каскад"

На рис 13 представлені основні результати вимірювань, тобто значення індукції МП (B) у залежності від зони розташування давача і типу автомобіля.

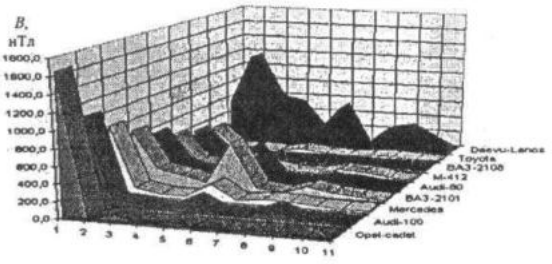


Рис.13–Порівняння магнітних полів автомобілів популярних марок

Як видно з наведеної діаграми, найнижчий інтегральний рівень випромінювання у смузі частот ІВС "Каскад" мають "Тойота" і "Москвич-412". Суттєво вищі значення індукції B, особливо в передній частині автомобіля, має "Деу-Ланос".

5.3. Оцінка низькочастотних магнітних полів залізничної колії. У ФМІ НАНУ кілька років тому були започатковані роботи, спрямовані на дослідження низькочастотних полів, створюваних струмами автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), що протікають у рейковій парі. Магнітне поле АЛС може бути використане для діагностики дефектів рейок і рейкових з'єднань. Струми АЛС з частотами 25, 50 і 100 Гц можуть досягати кількох десятків А. Розв'язання питань технічної діагностики вимагало вирішення теоретичних і практичних задач по дослідженню розподілу магнітного поля над рейковою парою [24].

Дослідження просторової структури магнітного поля над рейковою парою проводилося з допомогою ІВС "Каскад". Розподіл магнітного поля частотою 100 Гц представлений на рис. 14, а фрагмент проведення вимірювання магнітного поля – на рис. 15.

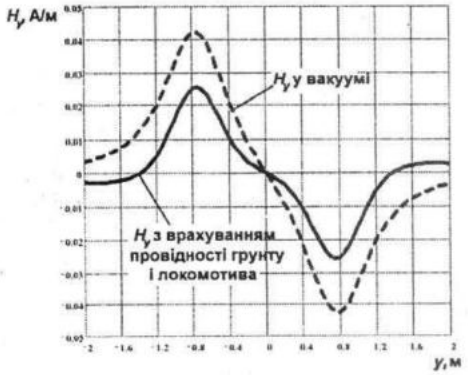


Рис. 14–Напруженість магнітного поля над рейковою парою з урахуванням впливу ґрунту і локомотива

Рис.15–Вимірювання напруженості магнітного поля рейкової пари з допомогою ІВС "Каскад"

5.4. Вимірювання ЕМП поблизу довгохвильових радіостанцій та високовольтних ліній електропередач. Вищезгаданий універсальний широкосмуговий вимірювач напруженості поля типу МЕН-1, розроблений у Технічному університеті "Вроцлавська політехніка" [18], був використаний для вимірювання техногенних полів поблизу радіостанцій. Цей прилад дає можливість проводити дистанційне вимірювання горизонтальної і вертикальної складових електричних і магнітних полів, а також досліджувати вплив на структуру поля поблизу цих об'єктів таких чинників як погода, будівлі, дерева, лінії електропередач тощо.

На рис. 16 представлено робочі фрагменти вимірювань напруженості електричної складової ЕМП поблизу передавальної антени радіостанції, яка працює на частоті 200 кГц. Вимірювання проводилося з допомогою вимірювача типу МЕН, електричні зонди якого піднімалися на повітряній кулі (ліва частина рис. 16), а універсальний вимірювач МЕН був розташований на землі (права частина рис.16). Передача вимірювального сигналу від зонду до приладу МЕН здійснювалося по кабелю. Вимірювання проводилися на двох вертикальних профілях ні віддалі 50 і 350 м від антенної щогли радіостанції (рис. 17а), а також на іншому вертикальному профілі поблизу високовольтної лінії електропередачі (рис. 17б). На рис. 17 суцільні лінії відповідають теоретичним розрахункам напруженості ЕМП, а лінії, позначені хрестиками – результати вимірювань. На віддалях порядку 350 м (пряма Р4 на рис. 17а) теорія і експеримент близькі між собою. На малій відстані від пердавальної антени (крива Р5 на рис. 17а) спостерігаємо наявність різниці між розрахунком і вимірюванням. Вплив поверхні землі спричинив нахил кривої Р5. Вплив лінії електропередачі на результати вимірювань наочно видно з рис. 17б, на якому спостерігається суттєвий розкид результатів вимірювань (у 1,5÷2 рази) у порівнянні з теоретичними розрахунками.

Приведені матеріали показують, що експериментальні результати обов'язково повинні враховуватися при винесенні остаточного "вердикту" з оцінки техногенного електромагнітного забруднення довкілля і, особливо, коли йдеться про відведення ділянки землі під будівництво або для інших

цілей, де передбачалося наявність постійного перебування великої кількості людей.

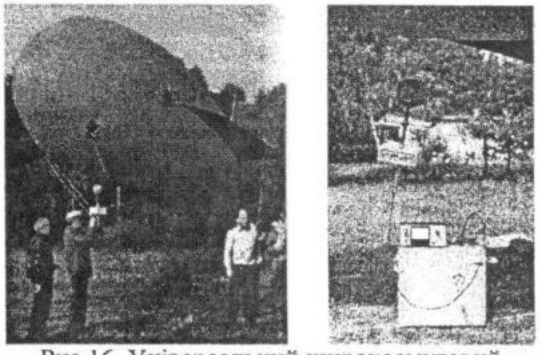
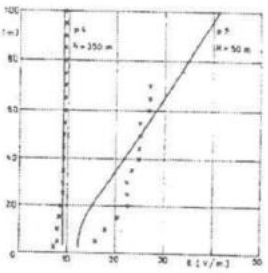
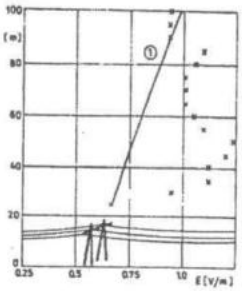


Рис.16–Універсальний широкосмуговий вимірювач напруженості поля типу МЕН з дистанційним відліком вимірюваної величини (вигляд усього вимірювального комплексу і вимірювача МЕН)



а)



б)

Рис.17–Порівняння теоретичних розрахунків і експериментальних вимірювань ЕМП для двох різних випадків конфігурації довкілля

6. Висновки. Метрологія електромагнітних полів на робочому місці і в природному середовищі у зв'язку з передбачуваним шкідливим впливом неіонізуючого випромінювання є дуже важливою проблемою. Коректне проведення вимірювання електромагнітного поля є питанням складним і вимагає спеціальних знань не тільки в області метрології, електродинаміки і розповсюдження хвиль, а також в області загроз і основ охорони середовища. В дослідженні ЕМП в умовах природного середовища важливим є не тільки вибір методики вимірювань, вимірювальної апаратури, часу вимірювань та умов вимірювань, а й складання відповідної документації та інтерпретації результатів вимірювань у відповідності з існуючою нормативною базою.

Проблематика нормування і вимірювання ЕМП розпорошена у численних стандартах, нормативних актах, санітарних нормах і т.д. При проведенні контрольних вимірювань, аналізі отриманих результатів доводиться користуватися великою кількістю різних за змістом нормативних документів, що часто призводить до неоднозначної інтерпретації результатів вимірювань.

Щоб охорона середовища від опромінювання ЕМП була результативною, в новій НД України повинні бути однозначно сформульовані вимоги, які відносяться до оцінки й інтерпретації результатів вимірювань, до вибору методу і вимірювальної апаратури, а також способу проведення вимірювань. Усі ці вимоги повинні бути зосереджені в єдиному документі і зрозумілими для контрольно-інспекційних служб.

ЛІТЕРАТУРА

1. Григорьев Ю.Г., Степанов В.С., Григорьев О.А., Меркулов А.В. Электромагнитная безопасность человека. Информационно-справочное издание. – М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999. – 148 с.
2. Шевело Д.М. Электромагнитная безопасность. – Киев: Век+, НТИ, 2002. – 432 с.
3. Маслов О.Н. Электромагнитная безопасность радиоэлектронных средств. – М.: Связь и бизнес. – 2000. – 82 с.
4. Trzaska H. Pomiary pól elektromagnetycznych do celów ochrony pracy i ochrony środowiska. – Warszawa: PWN, 1998. – 250 s.
5. Nichoga V., Trokhym G., Trzaska H. On a Problem of Creating Model of Safety Sanitary-Hygienic Level of Low-frequency Radiation // Proceedings of International Conference on Modern Problems of Telecommunications, Computer Science and Engineers Training (TCSET'2000), Lviv-Slavsko, Ukraine, February 14-19, 2000. – pp. 165-166.
6. Сопільник Л.І. Вплив електромагнітних полів на дорожні аварії. – Львів: Піраміда. – 2000. – 175 с.

7. Diagnostics of Low-Frequency Alternating Magnetic Fields in Inhabited Modules of the "Mir" Orbital Station / V. Nichoga, V. Shabelnikov, P. Dub, L. Sopilnyk // Proceedings of the 10th International Symposium on Electromagnetic Fields in Electrical Engineering (ISEF'2001), Cracow, Poland, September 20-22, 2001, pp. 547-552.

8. Nichoga V., Dub P. Measuring Sensors for Investigation of Magnetic Field on the Board of Space Apparatuses // Proceedings of the Fourteenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Wroclaw, Poland, June 23-25, 1998. – pp. 220-223.

9. Grudziński E., Nichoga V., Sopilnyk L. Aspekty aparaturowe w ochronie przed polami elektromagnetycznymy // Bulletin Wojskowej Akademii Technicznej. Elektronika i Optoelektronika, Vol. VII, No 4(608), Kwiecień 2003. – S. 55-70.

10. Нічога В., Трохим Г., Часка Г. Національні гігієнічні ліміти низькочастотного випромінювання та апаратура діагностика біологічної безпеки електромагнітного середовища (огляд) // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації. Вип. № 387 - Львів. - 2000. - С. 450 - 459.

11. Ничога В., Сопильнык Л, Грудзинский Э., Янковская Л., Дуб П., Дикмарова Л. Сравнительная оценка предельно допустимых уровней влияния техногенных электромагнитных полей, нормированных в Украине, России и Польше // Сборник научных докладов V Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии (ЭМС-2003), 16-19 сентября 2003, Санкт-Петербург, Россия, С. 381-384.

12. Нічога В., Сопільник Л., Дуб П. Гармонізація стандартів східноєвропейських країн по гранично допустимих рівнях електромагнітних полів // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Вимірювальна техніка та метрологія. – Вип. 61. – 2002. – С. 33-43.

13. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Затв. МОЗ України 01.08.96 р., №239.

14. Nichoga V., Grudzinski E., Dub P., Isayev I. Calculation and Measuring of Electromagnetic Fields in Near Zone // Proceedings of VIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED'2003). Lviv, Ukraine, September 23-25, 2003. P. 202-207.

15. Антенно-фидерные устройства систем сухопутной подвижной радиосвязи / Под редакцией А.Л. Бузова. – М.: Радио и связь, 1997. – 312 с.

16. Trzaska H. Pomiary pól elektromagnetycznych do celów ochrony pracy i ochrony środowiska. Monografia, PWN, 1998.

17. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 2 stycznia 2001r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz. U. nr 4 z dnia 23.01.2001 r. poz.36.

18. Grudziński E. Laboratorium Wzorców i Metrologii Pola Elektromagnetycznego w świetle nowych unormowań // Przegląd Telekomunikacijny, No 8-9, 2001, S. 541-549.

19. Нічога В., Шабельников В., Дуб П., Трохим Г., Остап О. Інформаційно-вимірювальна система "Каскад" для діагностики низькочастотних магнітних полів на космічній станції "Мир" // Відбір і обробка інформації. – Вип. 18 (94). – Львів. – 2003. – С. 46-52.

20. Серебров А.А., Усачев Ю.В., Шабельников В.Г. Исследования низкочастотных магнитных полей в обитаемых модулях космической станции «МИР» // Электронный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ» http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/036.pdf 386

21. Сопільник Л.І., Трохим Г.Р. Порівняльні вимірювання магнітних полів легкових автомобілів популярних марок // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». "Вимірювальна техніка та метрологія». – Вип. 60. –Львів. – 2002. – С. 32-34.

22. Brejwo W., Prszybysz C., Zachwieja E., "Diagnostics of Low-frequency Electrical and Magnetic Fields in Cars" (in Polish), in Proceedings of MKM'96, Częstochowa, Poland, 1996, vol. 1, pp. 13-19.

23. Патент 50803 Україна, МПК 7G01B29/08. Вимірювач-індикатор напруженості електромагнітного поля / Сопільник Л.І., Столярчук П.Г. – №99063678. Заявлено 30.06.99; опубл. 15.11.02, Бюл. №11.

24. Нічога В. О., Дуб П. Б. Вимірювання рейкових струмів вертикально орієнтованими індукційними давачами // Відбір і обробка інформації. – 2003. – Вип. 19 (95). – С. 78-82.