

Михайло ІЛЬЧЕНКО, Теодор НАРИТНИК

МІКРОХВИЛЬОВІ ТЕПЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Цілеспрямоване використання електромагнітної енергії в різноманітних сферах людської діяльності призвело до того, що ряд природних фізичних явищ — атмосферна електрика, радіовипромінювання Сонця і Галактики — поповнило електромагнітне поле штучного походження.

В результаті тривалої еволюції природа наділила наші організми найбільш доцільними адаптаційними реакціями і в тому числі дивною здатністю вловлювати енергетично дуже слабкі дії зовнішніх чинників і корегувати по них функціонування органів. Саме це дає можливість людям жити в різних кліматичних умовах: переносити аномалії сонячної активності, магнітного поля Землі й тому подібне.

Михайло Юхимович Ільченко (1941 р.н.) — доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії наук України. Проректор з наукової роботи Київської політехніки, зав.кафедри засобів телекомунікацій. Заслужений діяч науки і техніки. Лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1983), Державної премії СРСР в галузі науки і техніки (1990), Державної премії України в галузі науки і техніки (2004).

Теодор Миколайович Наритник (1946 р.н.) — відомий учений в галузі радіоелектроніки, директор Інституту електроніки та зв'язку Української академії наук. Наукова діяльність стосується фізико-технічних і науково-виробничих проблем, пов'язаних з використанням мікрохвильових телекомунікаційних систем та мереж зв'язку. Лауреат Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1983), Державної премії СРСР в галузі науки і техніки (1990), Державної премії України в галузі науки і техніки (1995).

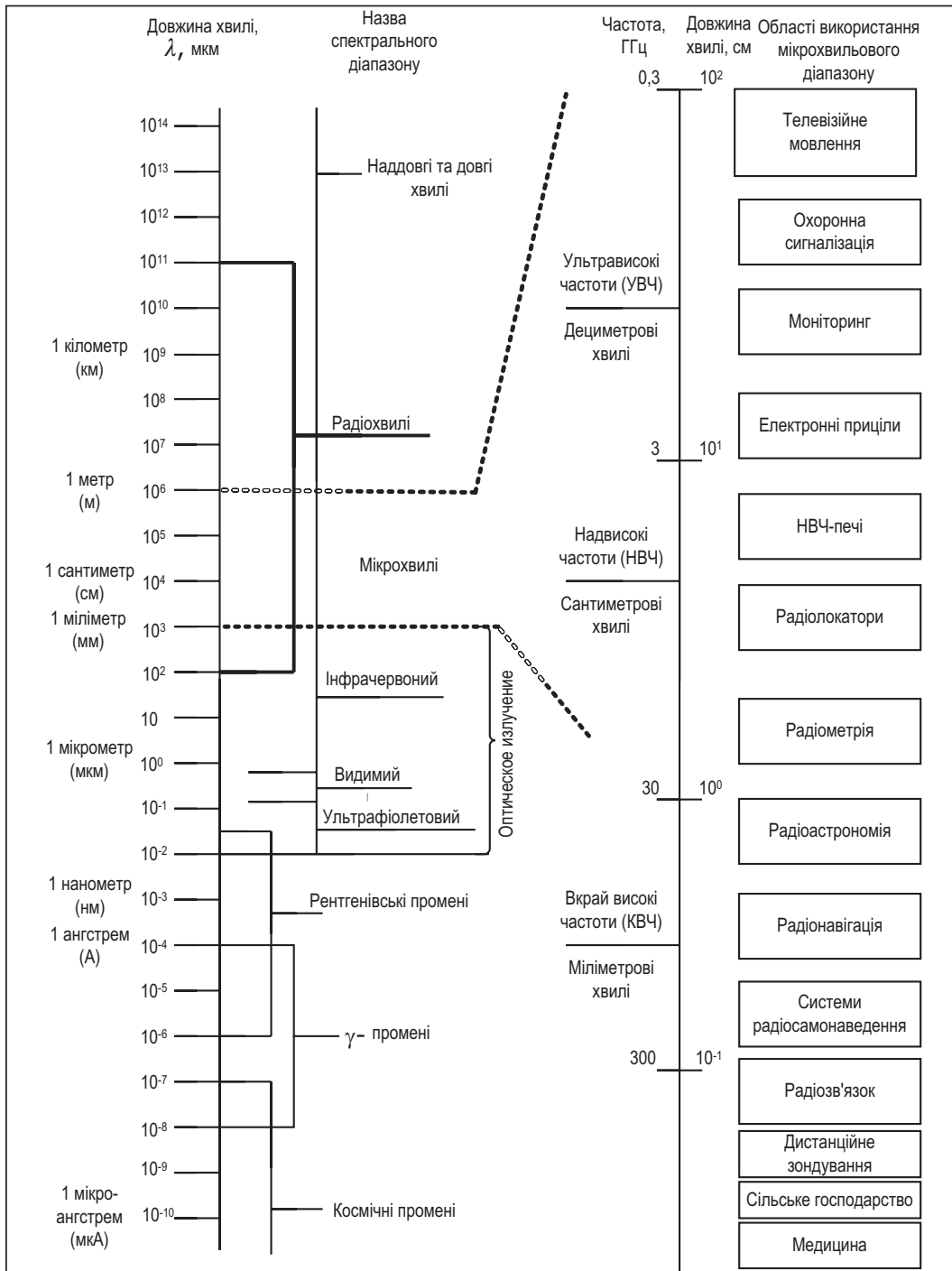


Рис. 1. Електромагнітний спектр і області практичного використання мікрохвиль

Глобальні зміни природних умов відбуваються так повільно, що організми в масштабах всієї популяції можуть пристосовуватися через генетичні ознаки, що передаються спадково. Зміни ж, викликані діяльністю людини, відбуваються так нестримно, що уникнути непередбачуваних наслідків неможливо. Особливо швидко розвиваються сучасні телекомунікаційні системи [1, 2], які використовують мікрохвильові, інфрачервоні і оптичні випромінювання (рис. 1).

Якщо в 1895 році О.С. Попов реєстрував своїм грозовідмітником короткочасні електричні розряди, то сьогодні Земна куля буквально вкрита щільною оболонкою зі всіляких електромагнітних випромінювань (ЕМВ), створених руками людини. Можна говорити про те, що дедалі зростає невидиме для ока «забруднення» довкілля, простір постійно поповнюється потужними і слабкими електромагнітними випромінюваннями, що оточують нас, на всіх можливих частотах з різними видами модуляції.

У зв'язку з цим украй актуальною в усьому світі є біологічна безпека. Біологічна безпека визначається впливом електромагнітного випромінювання на організм людини, що оцінюється за допомогою санітарних норм, які визначають допустиму межу випромінювання. Така межа зазвичай в 50–100 разів нижча за поріг, при якому в організмі можуть відбуватися незворотні зміни.

Стан проблеми

У світовій практиці існує два види норм, що встановлюють межу безпеки:

— щільність потоку потужності ($\text{мВт}/\text{см}^2$)

або

— питомий коефіцієнт поглинання SAR [Specific Absorption Rates] ($\text{мВт}/\text{г}$).

Різниця між ними полягає в тому, що в першому випадку враховується потужність, що поглинається в одиниці об'єму, а в другому — в одиниці маси за певний час.

Для України встановлено норми щільності потоку потужності $0,0025 \text{ мВт}/\text{см}^2$ [11] без обмеження часу, а для Росії — $0,01 \text{ мВт}/\text{см}^2$, усереднена за 20 годин. Значення SAR для США прийняте $1,6 \text{ мВт}/\text{г}$ для інтервалу усереднювання рівного 30 хвилинам, а в Західній Європі норма біологічної безпеки встановлена рівною $2 \text{ мВт}/\text{г}$ за 6 хвилин при усереднюванні по будь-яких 10 грамах тканини. В Україні і Росії значення SAR не встановлені.

Джерела випромінювання в великих містах встановлюються на дахах будівель в безпосередній близькості від людей. Передавачі стільникових телефонів люди притуляють прямо до вуха, а в недалекому майбутньому на вулицях і автострадах з'являться тисячі автомобілів, оснащених радарами проти зіткнень. Все живе на Землі за мільйони років адаптувалося до природних електромагнітних полів космічного походження і їх варіацій, тоді як антропогенні джерела випромінювання стали значущими чинниками за останні 60 років. Тому «електромагнітне забруднення» довкілля, що дедалі зростає, не може не справити глобального впливу на біосферу, а отже й на здоров'я людей.

Про дію електромагнітних полів на живі організми відомо давно. Наприклад, в книзі Пресмана [3], що вийшла в 1968 році, міститься огляд більш ніж 800 робіт, присвячених біологічній дії електромагнітних полів. Тим більше це актуально сьогодні в умовах стрімкого розвитку в світі телекомунікаційної радіоіндустрії. Ситуацію, що склалася, ілюструє рис.2, де наведені інтенсивності природних і штучних джерел ЕМВ і показано граничні допустимі рівні (ГДР) опромінення відповідно до санітарно-гігієнічних норм, що діють. У діапазоні до 300 МГц по вертикальній осі відкладено напруженість електричної складової поля у В/м, а для частот більше 300 МГц щільність потоку потужності (ЩПП) у Вт/м². У верхній частині малюнка бачимо область інтенсивностей (Зона А), в якій за даними літератури [4] спостерігається летальний результат опромінення дрібних тварин (миші, щури, собаки, морські свинки, кролики). Окрім інтенсивності ЕМВ, значення має тривалість опромінення і локалізація дії. Загибель тварин настає, коли температура тіла сягає вище критичного рівня, тобто 41–42°C. Нижче — затемнена зона (Зона В), в якій спостерігається нагрів тіла живих організмів без загрози для їх життя. Нижній кордон цієї зони відповідає рівням потужності, для яких температура біологічних об'єктів підвищується приблизно на 0,1°C.

Санітарні норми — гранично допустимі рівні потоку потужності, в окремих країнах різні. На рис. 2 горизонтальними лініями показані ГДР в Швеції

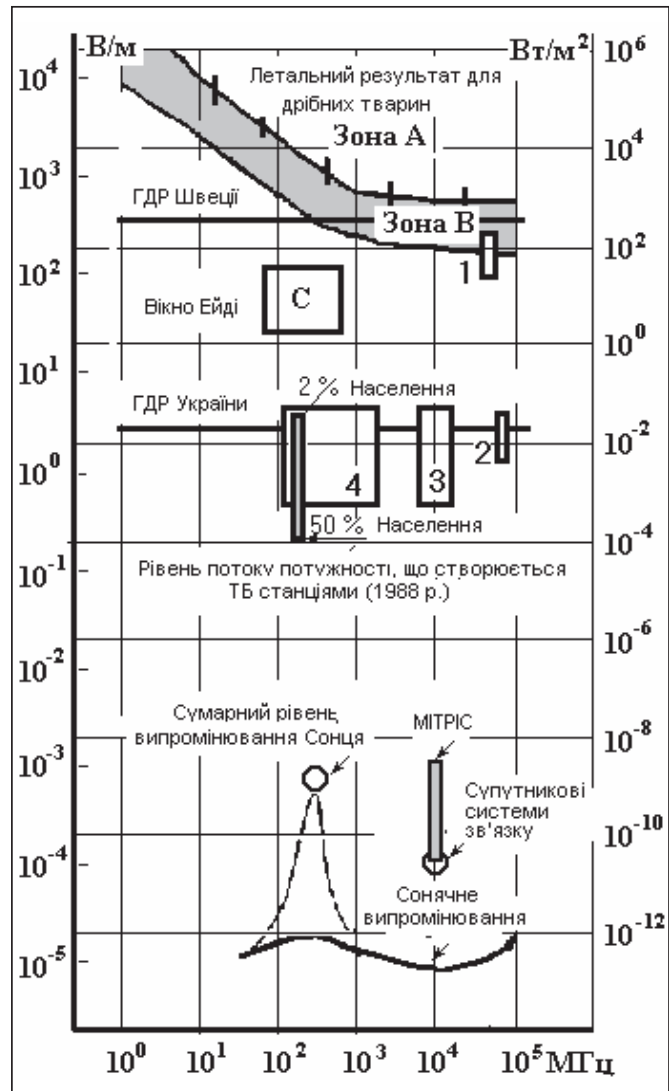


Рис. 2. Інтенсивності деяких штучних і природних джерел ЕМВ, і санітарні норми допустимого потоку потужності Швеції і України

і прийняті в даний час в Україні. Ці два значення ГДР відрізняються в 1000 разів. Виникає питання, чому ж така велика різниця? Річ у тому, що в деяких країнах, у тому числі і в Швеції, при установці ГДР як основний критерій прийнятий тепловий ефект, тобто максимально допустимий нагрів живого організму. Інші нетеплові ефекти дії ЕМВ при цьому не враховувалися. У колишньому СРСР, а тепер і в Україні ГДР встановлювався, виходячи з реакції тварин на опромінення. Виявилось, що при істотно нижчих рівнях опромінення, ніж ті, які здатні викликати нагрівання тіла, тварини реагували на ЕМВ. Таким чином, визначені рівні опромінення, нижче яких реакції тварин не спостерігалися. Цей гранично допустимий рівень практично збігається з українськими нормами. Між зоною теплової дії і гранично допустимим рівнем знаходиться широка область, в якій немає теплового нагріву і, проте, живі організми відчувають дію ЕМВ. Це факт, доведений численними дослідженнями.

За даними [4], середній рівень ЕМВ в декількох містах США, створюваний передавальними телевізійними станціями досягає 10^{-4} Вт/м² для 50 % населення, а 2 % населення проживає при рівні більше 10^{-4} Вт/м², що перевищує допустимий рівень, прийнятий в Україні. Відповідна область на рис.1 показана вузьким витягнутим вгору прямокутником. Природно, що середні показники не виключають перевищення інтенсивності ЕМВ в окремих конкретних районах місцевості. Крім того, приведені вище дані застаріли і не враховують інші джерела ЕМВ, окрім передавальних телевізійних станцій, скажімо, величезної кількості базових станцій мобільного зв'язку.

Наприклад, сьогодні в Києві налічується близько 20 телевізійних і 40 радіомовних передавачів, сумарна випромінювана в простір потужність яких досягає 380 кВт [<http://victorcity.narod.ru/Ukraine/kiev.htm>]. Кількість базових станцій у Києві зросла до 5000 одиниць, що при рівнях випромінювання на одну станцію від 20 Вт до 60 Вт дає електромагнітне навантаження на навколишній простір до 200 кВт. Причому, базовим станціям доводиться нарощувати ємкість каналу передачі потоку даних відповідно до зростаючих потреб абонентів. Це обумовлює застосування складніших способів модуляції сигналу, наприклад, таких, які використовуються в 3G і 4G системах, що, у свою чергу, вимагає ще вищої потужності випромінювання.

З рис.2 видно, що природні джерела набагато слабші, ніж техногенні, проте відомо, що зміни природних випромінювань впливають на людей. Порівняти із слабкими природними джерелами можна лише випромінювання супутникових систем зв'язку і вітчизняні системи МІТРС [1].

Нині розвиваються дослідження, спрямовані на використання ЕМВ низької інтенсивності в медицині. Безперечний успіх в цій області підтвердив, що дія ЕМВ на людину істотно впливає на її здоров'я. На рис.2 прямокутниками 1, 2, 3 і 4 показані області частот і інтенсивностей, в яких використовується ЕМВ в терапевтичних цілях. Час розвитку біологічних ефектів — від декількох хвилин до декількох годин. Проведений групою експертів ООН [4] аналіз підтвердив наявність у цьому діапазоні впливу ЕМВ малої інтенсивності на нервову систему людини, на наявність нейроендокринних ефектів, а також на захисні реакції в організмі людини в усьому діапазоні частот.

Дослідження показують, що ЕМВ діють на живий організм за участю центральної нервової системи, проте, як і через які рецептори ця дія трансформується в подразники нервової системи, поки що невідомо. Звертає на себе увагу гіпотеза [5] про те, що біологічно активні точки (точки акупунктури) є рецепторами сенсорної системи раніше невідомої модальності. Ця сенсорна система здатна контролювати зміни зовнішнього середовища, які, будучи необхідними для виживання індивідуума або виду, не несуть однак інформації, що вимагає негайного усвідомлення і ухвалення конкретного рішення, і не контролюються нашою свідомістю. До них належать гравітація, електричне і магнітне поле Землі, метеорологічні явища, ЕМВ і деякі інші чинники. Інформація від рецепторів надходить до центральної нервової системи і використовується нею для запуску адаптивних механізмів, направлених на ослаблення або повну компенсацію негативних змін у функціональних системах організму.

Такого роду модель дає можливість зрозуміти деякі особливості дії зовнішніх чинників на біологічні об'єкти. Наприклад, існують так звані «амплітудні вікна» біологічних ефектів (прямокутник С на рис.2). Ейді [6] показав, що ефект існує лише в певних межах зміни інтенсивності впливаючого чинника, для менших і для великих значень інтенсивності ефект зникає. Виявилось, що при значному зниженні дози дії біологічний ефект може повторитися з новою силою. При цьому малі інтенсивності інколи можуть справляти більший вплив, ніж більші інтенсивності. Реакція на дію ЕМВ виявляється із затримкою в часі. Реакція організму залежить від наявності в організмі патології. Організм, що перебуває в нормі, менше реагує на дію ЕМВ.

Над проблемою електромагнітної екології інтенсивно працюють в багатьох країнах світу. Зусилля фахівців координуються в рамках міжнародних організацій — Міжнародної асоціації по радіаційному захисту (IRPA), Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ), Міжнародного комітету із захисту від іонізуючих випромінювань (INIRC) і Європейського комітету з електромагнітної стандартизації (CENELEC).

У Верховній Раді України відбулися парламентські слухання про екологічну ситуацію в Україні і про виконання екологічного законодавства. Законів і підзаконних актів з цієї проблеми прийнята велика кількість. Всі вони важливі і необхідні, проте далеко не всі з них виконуються. І це не дивно, поліпшення якості довкілля — дорога справа.

Міжнародні обмеження на випромінювання (IRPA) для користувачів мобільних систем на частотах 900 і 1800 МГц наведено в таблиці 1.

Вони застосовні до випромінювань тривалістю не більше шести хвилин і стосуються, в основному, базових радіостанцій. Проте, коли радіопередавач

Таблиця 1. Міжнародні обмеження на випромінювання

Частота, МГц	IRPA-обмеження, Вт/м ²
900	4,5
1800	9,0

знаходиться близько до людини, наприклад, при використанні стільникового телефону, одиниця впливу мікрохвильового випромінювання на організм людини оцінюється так званою «специфічною» нормою поглинання SAR, що припадає на 1 грам біотка-

нини. При поглинанні одиниці SAR протягом 20 хвилин тканина нагрівається на 1°C. Європейські організації рекомендують для стільникових телефонів граничну норму SAR — 2 мВт/с. У зв'язку з цим, являють собою інтерес дані SAR і щільність потоку потужності (ЩПП) стосовно деяких моделей стільникових телефонів (таблиця 2).

Таблиця 2. Порівняльна оцінка безпеки радіотелефонів

Фірма, тип РЕС	Motorola (Stat Tac)	Sony (CMD-Z1)	Nokia (8110)	Ericson (GF 788)	Philips (Spark)
ЩПП, Вт/м ²	0,48	0,22-0,55	0,75	1,09	1,36
SAR, Вт/кг	0,33	0,41–0,88	0,73	0,91	1,05–1,06

Як бачимо, деякі зразки телефонів перебувають біля «небезпечної межі».

Дослідження питань дії радіосистем на людину, і зокрема, пов'язані з наслідками опромінення головного мозку при використанні стільникових телефонів останнім часом ведуться інтенсивно. Зокрема, Франція планує з врахуванням світових тенденцій заборонити використання стільникових телефонів в школах учнями, які не досягли 14-літнього віку і таким чином захистити молоде покоління від небажаного впливу електромагнітного випромінювання. Відповідний закон був внесений на розгляд парламенту після шеститижневого аналізу результатів міжнародних досліджень впливу електромагнітного випромінювання. Ініціативна група також запропонувала зменшити потужність антени стільникового зв'язку і зняти антени базових станцій, розташованих поблизу житлових будинків, шкіл, лікарень.

Російський Національний комітет із захисту від неіонізуючих випромінювань сформулював свою точку зору на можливий вплив електромагнітного поля мобільних телефонів на здоров'я дітей і підлітків таким рішенням «Діти і мобільні телефони: під загрозою здоров'я майбутніх поколінь» [www.cnews.ru]. Своє рішення Комітет базує на результатах аналізу проведених досліджень, на основі яких було зроблено висновок, що поглинання електромагнітної енергії в голові дитини значно більше, ніж у дорослого (мозкова тканина у дітей має більшу провідність, менший розмір голови, кістки черепа тонші і тому подібне).

Дослідження показують, що всі основні характеристики ЕМВ дуже швидко зростають стосовно рівня природного фону — хоч би яким способом ми цей фон визначали, на яких би відстанях від радіоелектронних засобів проводили дослідження. Так, наприклад, для Київського радіотелевізійного передавального центру «КРТПЦ» кордон санітарно-захисної зони міститься на відстані 6 км від підніжжя телевежі, тобто аж до Хрещатика [2]. В той же час, згідно із санітарним паспортом КРТПЦ, існують 2 зони: перша — «санітарно-захисна зона довкола КРТПЦ», яка не виходить за межі технічної території КРТПЦ; друга — «зона обмеження будівництва для будівель заввишки 60 м і більше», яка не виходить за межі 850 м. Тому потрібно всілякими шляхами знижувати до прийнятної межі рівень випромінюваної потужності. І в першу чергу це стосується впровадження мікрохвильової техніки. З альтернативних технічних рішень слід вибирати ті, які в меншій мірі «забруднюють» довкілля електромагнітними полями і є екологічно безпечними.

Що робити далі?

На нашу думку, деякі технології, що використовуються при створенні сучасних телекомунікаційних систем в Україні, дуже застаріли. На зміну їм мають прийти нові мікрохвильові телекомунікаційні системи з використанням ресурсозберігаючих і екологічно безпечних технологій. Прикладом може служити система МІТРС, розроблена ученими України. На її користь свідчить багато чинників: випромінювана потужність для забезпечення зони покриття в межах 60 км — не більше 3–5 мВт на один телевізійний канал проти десятків кіловат в системах, що існують, а споживана потужність на один телевізійний канал — в межах 1 Вт.

Крім того, вважаємо за необхідне, принаймні у великих містах із складною електромагнітною обстановкою і складним рельєфом місцевості, де розрахунково-аналітичні методи не дають адекватного рішення, розробити і впровадити систему захисту довкілля і людини від дії електромагнітних полів з обов'язковим проведенням електромагнітного моніторингу [7, 8].

Лише в разі здобуття позитивних результатів можна було б Національній комісії з питань регулювання зв'язку в Україні звертатися в Кабінет міністрів України з пропозицією доручити Міністерству охорони здоров'я переглянути і внести зміни до Державних норм і правил захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань.

Для реалізації цього завдання, за інформацією Українського державного центру радіочастот, Україна має в своєму розпорядженні унікальний спеціалізований вимірвальний комплекс швейцарського виробництва DAS Y5 NEO, призначений саме для вивчення міри впливу на здоров'я людини електромагнітних полів від термінальних пристроїв радіозв'язку шляхом виміру SAR. На сьогодні подібного вимірвального комплексу не має в своєму розпорядженні жодна інша країна СНД. Комплекс дає можливість SAR при випромінюваннях будь-якими стандартами (GSM, CDMA, DVB-T, TETRA і тому подібне) і забезпечує вимір рівнів напруженості електромагнітного поля в об'ємі з роздільною здатністю від кубічних міліметрів до кубічних сантиметрів в діапазоні частот до 8 ГГц.

Таким чином, вплив ЕМВ на біологічні об'єкти — це складний і не до кінця вивчений процес, наслідки якого неможливо передбачити. Проте, зупинити процес розвитку засобів зв'язку неможливо. Де ж вихід? Природа дає нам приклади надзвичайно раціонального використання малих і над- малих (за сучасними уявленнями) рівнів потужності для передачі великих об'ємів інформації. Навіть ті помірні рівні НВЧ-опромінення, з якими ми маємо справу в повсякденному житті, на багато порядків перевищують рівень потужності, при якому обмінюються інформацією живі організми [9–10]. Вихід може бути лише один. Необхідно переходити на принципово нові технології, які б з одного боку давали змогу нарощувати обсяги інформації, що передаються, а з іншого — здійснювали б це на екологічно безпечному рівні. Усвідомлення суспільством актуальності проблем довкілля вимагає розробки «зелених», екологічно чистих рішень. Збільшені вимоги населення створюють потребу в інноваційних телекомунікаціях, які мають служити справі забезпечення екологічної безпеки, надавати людям необхідну інформацію в реальному масштабі часу і допомагати в дорозі.

Серед подібних технологій — супутникові системи зв'язку, інтенсивність ЕМВ яких порівнянна з випромінюваннями природних джерел. У багатьох випадках використовуються кабельні і оптоволоконні системи. Проте, з економічних і інших причин залишаються і залишатимуться телекомунікаційні системи, що використовують радіовипромінювання. Перш за все, це телебачення, системи мобільного зв'язку та інше. Серед таких систем найперспективнішими є мікрохвильові системи, екологічні і ресурсозберігаючі можливості яких якнайповніше втілені в мікрохвильових телекомунікаційних системах UMDS, UWDS, MTPIC, що знайшли застосування в Україні й за кордоном.

Щодо телебачення актуальним є прийняття Державної програми впровадження цифрового телерадіомовлення в Україні, що дає можливість при не менше 3-х кратному зростанні інформаційної насиченості зменшити більш ніж в 3 рази потужність електромагнітного випромінювання. Даний процес успішно початий концерном РРТ в 18 і 17 зонах (міста Київ і Житомир) і Державним підприємством «Одеський ОРТПЦ» — у 70 і 74 зонах одночастотного синхронного мовлення.

У мобільному зв'язку перспективним уявляється перехід на нові стандарти, зокрема, використання технологій CDMA, 4G, NGN, що також сприятиме збільшенню біологічної безпеки.

Література

1. Згуровский М.З., Ильченко М.Е., Кравчук С.А. и др. Микроволновые устройства телекоммуникационных систем; в 2-х томах. — Том 2. Устройства передающего и приёмного трактов. Проектирование устройств и реализация систем. — К.: ИВЦ Видавництво «Політехніка», 2003. — 616 с.
2. Нарытник Т.Н., Лазоренко В.Н., Кашин С.В. О новых государственных санитарных нормах и правилах защиты населения от воздействий электромагнитных излучений. — Радиоаматор.1997. — № 6 (48). — с.14–15.
3. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. — М.: Наука, 1968. — 288с.
4. Радиочастоты и микроволны. Гигиенические критерии состояния окружающей среды 16. — Женева: Совместное издание Программы ООН по окружающей среде, Всемирной организации здравоохранения и Международной ассоциации по радиационной защите, 1984. — 145 с.
5. Лиманский Ю.П. Гипотеза о точках акупунктуры как полимодальных рецепторах системы экцептивной чувствительности // Физиологический журнал — 1990. — т. 36, № 4, с.115–121.
6. Эйди У.Р. Частотные и энергетические окна при воздействии слабых электромагнитных полей на живую ткань. — ТИИЭР, 1980, т.68, № 1, с.140–147.
7. Кольчугин Ю.И. Система защиты окружающей среды и человека от воздействия электромагнитных лучей // Электросвязь. — 1997. — № 1. — с.15–16.
8. Мордачев В.И. Оценка экологической опасности электромагнитного фона, создаваемого средствами мобильной радиосвязи // Электросвязь. — 2007. — №9. — с.37–41.
9. Нефедов Е.И. Современная биоинформатика. — М.: Горячая линия — Телеком, 2005. — 272с.
10. M.Ye. Ilchenko, T.N. Narytnik, A.I. Fisun, and O.I. Belous. Conception of Development of Millimeter and Submillimeter Wave Band — RadioTelecommunication Systems. — Telecommunications and RadioEngineering, 67(17):1549-1564 (2008)1549 ISSN 0040-2508© 2008 Begell House, Inc. DISTRIBUTED INFORMATION AND CONTROL SYSTEMS.
11. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.96 № 239. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 29 серпня 1996 р. за № 488/1513. Київ, 1996, — 28с.