



# ЩО ВИВЧАЄ ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ЕКОЛОГІЯ

АБО

ЧОМУ ВИПРОМІНЮВАННЯ МОБІЛЬНОГО ТЕЛЕФОНУ  
МОЖЕ БУТИ ШКІДЛИВИМ для здоров'я



(Частина 1 у №2 2012 р.)

З кожним роком у наше життя усе більш активно входить високотехнологічна електроніка: комп'ютери, аудіо- і відеотехніка, системи стільникового і супутникового зв'язку. Усі ці пристрої активно випромінюють електромагнітні хвилі (ЕМХ), унаслідок чого навколишній електромагнітний фон починає набувати нових рис. По-перше, підвищення робочих частот, необхідне для збільшення швидкодії комп'ютерів і поліпшення якості мобільного зв'язку, призводить до зсуву сумарного спектра випромінювання в короткохвильову (високочастотну) область. По-друге, повсюдне використання цифрових електронних схем зумовило появу якісно нової складової — цифрового шуму (ЦШ).

ЦШ має незвичайні властивості, обумовлені специфікою його спектру. Строго кажучи, спектр — це результат розкладання певної функції часу  $U(t)$  (назвемо цю функцію *сигналом*) на деякі елементарні складові. Іншими словами, будь-який складний сигнал можна представити як суму більш простих сигналів. Така сума, зазвичай, записується як інтеграл чи ряд **чи ряду**.

Якщо функція  $U(t)$  періодична з періодом  $T$ , у більшості випадків її розкладають на елементарні тригонометричні функції — синус і косинус:

$$U_T(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cdot \cos(n \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot t) + b_n \cdot \sin(n \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot t))$$

Цей вираз називається рядом Фур'є, на честь французького математика Жана Батиста Жозефа Фур'є. Оскільки функції синуса та косинуса описують гармонічні коливання, обчислення ряду Фур'є представляє собою розкладання довільного сигналу на *гармоніки*.

Сукупність амплітуд гармонічних коливань  $a_0, a_n, b_n$  називають *амплітудним спектром* сигналу. Спектр сигналу  $U(t)$  містить в загальному випадку нескінченне число гармонік, що мають кратні циклічні частоти  $\omega_n = \frac{2\pi}{T} \cdot n$  де  $n=1,2,3,\dots$ . Спектр формально записується як деяка функція частоти

$S(\omega)$ . Зазначимо, що реальні радіовимірювальні прилади — спектроаналізатори — реєструють *спектр потужності* сигналу, який, фактично, пропорційний квадрату амплітудного спектра.

Як приклад розглянемо спектри простих періодичних сигналів (рис. 1).

1. У найпростішому випадку  $U(t) = A \sin(\omega_0 \cdot t)$ . Такий сигнал часто називають *монохроматичним*, запозичуючи термін в оптиці. Його спектр містить лише одну компоненту (основну гармоніку) з частотою  $\omega_0$  і амплітудою  $A$ . Спектр реального монохроматичного сигналу ледь помітно «розмазаний» по шкалі частот. Діапазон  $\Delta\omega$ , який займає реальний спектр, визначається нестабільністю частоти генератора (Рис. 1А).

2. Нехай сигнал  $U(t)$  є послідовністю прямокутних імпульсів тривалістю  $\tau$  і періодом повторення  $T$ . Спектр міститиме нескінченне число гармонік, амплітуда яких відповідає обвідній функції

$$\left[ \frac{\sin(\omega\tau/2)}{\omega\tau/2} \right] \quad (\text{Рис. 1Б}).$$

3. Представимо сигнал як однакові нерегулярні «пакети» імпульсів, причому тривалість кожного імпульсу кратна  $\tau$ , а тривалість «пакету» дорівнює  $T$ . Спектр буде схожий на попередній, але гармоніки відносно обвідної функції будуть розташовані значно щільніше (Рис. 1В).

За умови  $T \gg \tau$  спектр стає *псевдонеперервним*: гармоніки розташуються так близько одна до одної, що спектроаналізатор може їх і не розрізнити.

Саме такі сигнали, що складаються з величезного числа пакетів («слотів») коротких імпульсів, випромінюють у простір наші мобільні телефони і стільникові ретранслятори. Фізики запропонували для спектра ЦШ парадоксальне означення: «*когерентний континуум*». Термін «когерентний» часто використовується як синонім терміну «монохроматичний». «Континуум» — означає «неперервний» або «суцільний».

Отже, джерела ЦШ випромінюють, подібно до лазерів, монохроматичні хвилі, проте, в широкому спектральному діапазоні, як лампи розжарювання.

Впровадження в наше повсякденне життя будь-якої нової технології, при якій у навколишній простір випромінюються ЕМХ, неминує породжує дискусії в суспільстві про можливі наслідки для здоров'я. Так було з телевізорами, комп'ютерами, мікрохвильовими печами. У цьому сенсі мобільні телефони привертають особливу увагу. У наш час усім відомо, що випромінювання високих частот напевне, не корисне, а радіопередавач телефону працює безпосередньо біля вуха, в декількох сантиметрах від головного мозку.

Наукові дослідження, проте, поки не дають однозначної відповіді на питання: наскільки шкідливе випромінювання мобільного телефону для користувача. З урахуванням незвичайних особливостей цифрових випромінювань проблема — з наукової точки зору — дуже складна.

Якщо пригадати одвічно незадовільне фінансування соціально-спрямованих програм, лобіювання законів, вигідних компаніям-виробникам, — стає ясно: найближчим часом навряд чи варто очікувати суттєвих зрушень у цьому напрямку. Висновок напрашується: слід озброюватися доступними знаннями і вирішувати проблему самостійно хоч би для себе і своїх близьких.

Отже, яка потужність опромінення офіційно вважається небезпечною? Ще з часів розробки перших радіолокаційних станцій учені намагалися встановити деякий критерій електромагнітної безпеки. Вважалося (і вважається до цього дня), що допустима межа опромінення повинна бути нижчою, причому із великим запасом, за той рівень, при якому в організмі людини відбуваються небажані зміни, наприклад, з'являється нудота, слабкість або головний біль. Про віддалені наслідки, пов'язані з накопиченням «доз» (як, наприклад, у разі радіоактивного опромінення), не йшлося і не йдеться через традиційне розуміння механізмів взаємодії ЕМХ з речовиною. Сьогодні міжнародні норми безпеки встановлюють межу для так званого питомого коефіцієнта поглинання (*Specific Absorption Rate* — *SAR*) — потужності ЕМХ, яку поглинула одиниця маси. У залежності від місцевого стандарту, в різних країнах цей коефіцієнт коливається в межах  $10^{-2}$ – $10^{-3}$  Вт/г.

Такі значення гарантовано — на два-три порядки — перевищують рівень опромінення, при якому можуть проявитися відмічені вище небажані реакції організму. Але навряд чи до цих стандартів безпеки слід ставитись з повною довірою.

У попередніх статтях ми неодноразово зазначали факт надзвичайно високої чутливості живих систем до слабких електромагнітних випромінювань. До того ж, доведено, що біологічні приймачі електромагнітних хвиль є частотно-селективними, тобто, такими, що приймають зовнішні сигнали за принципом резонансу.

ЕМХ природного, а в останні десятиліття і штучного походження, є невід'ємними супутниками нашого життя, що чинять вплив на здоров'я і самопочуття. До появи ЦШ, зовнішні поля штучного походження можна було розглядати як *невибірковий* чинник такого впливу. При загальному, достатньо високому рівні електромагнітного фону, його спектральна густина, яка чисельно дорівнює потужності випромінювання в одиничному частотному інтервалі  $dW/d\omega$ , до недавнього часу залишалася все ще занадто низькою, аби викликати цілеспрямовану реакцію живої системи. Можна було вважати, що стандарт SAR забезпечував прийнятний рівень безпеки.

Повсюдне використання джерел ЦШ робить цілком реальним *вибірковий* вплив. Тепер, на окремих частотах спектральна густина електромагнітного фону зросла на багато порядків. Очевидно, що стандарти SAR, які оперують середньою по усьому спектру потужністю, в нових умовах використовувати просто некоректно. У живі приймачі можуть ззовні поступати сигнали, що випадково виявилися в резонансі, і здатні управляти тими або іншими елементарними процесами життєдіяльності.

Залежно від частоти, реакція організму на дію ЕМХ може виявитися різною. Наприклад, у міліметровому діапазоні (що відповідає частотам коливань  $10^{10}$ – $10^{11}$  Гц), слабкі випромінювання можуть чинити як згубний, так і благотворний вплив на клітинному рівні. На окремих частотах ці випромінювання можуть спричиняти ефективну терапевтичну дію. В інших діапазонах, зокрема, в сантиметровому ( $10^9$ – $10^{10}$  Гц), дія випромінювання як правило призводить до негативних біологічних наслідків<sup>1</sup>.

ЦШ нав'язує живій системі цілий «букет» сигналів на різних частотах. Кожен сигнал може бути зрозумілий окремо, але їх хаотичний розподіл в цілому може привести до непередбачуваних наслідків. Важко навіть уявити за яким принципом і що із запропонованого «меню» обере жива система як керівництво до дії.

Про те, що ЦШ можуть спричиняти додаткове небажане навантаження на організм, свідчать результати опитувань населення, проведених ще в 90-і роки минулого століття. У той час шляхи розвитку мобільного зв'язку тільки вивчалися, особистий стільниковий телефон вважався великою розкішшю, а про можливість негативних наслідків опромінення говорили сміливо і неупереджено. Так от, з'ясувалося, що користувачі передових цифрових систем частіше скаржаться на нездужання, загальну слабкість і головний біль, ніж користувачі традиційних аналогових систем.

<sup>1</sup> Нагадаємо, що у поширеному в Україні стандарті GSM базова частота передавача становить  $1.8 \cdot 10^9$  Гц

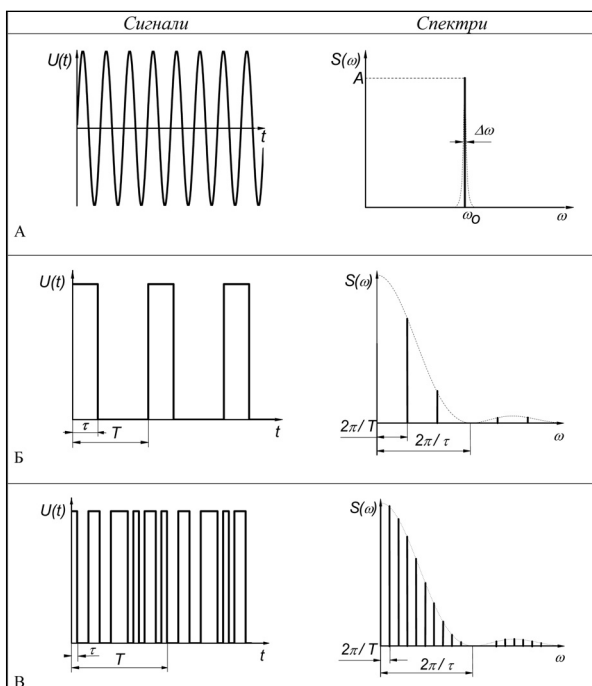
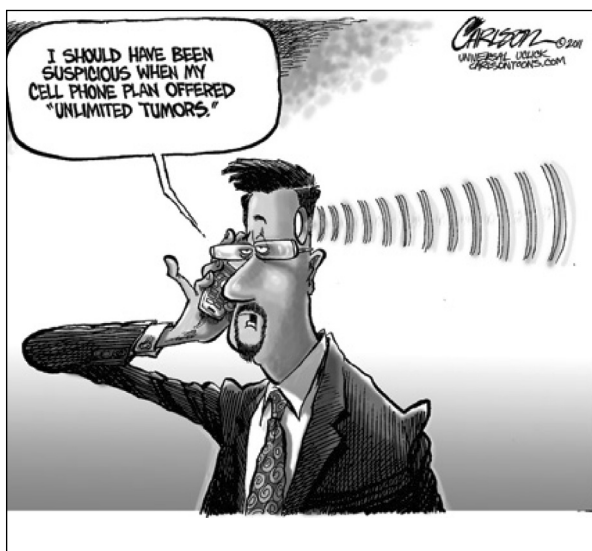


Рис.1. Деякі важливі сигнали та їх спектри

З часом проводити подібні опитування, а також цілеспрямовані наукові дослідження стає все складніше. Втім, самі виробники і їх партнери не заперечують можливості якихось віддалених наслідків. На ринку періодично з'являються засоби захисту від «шкідливих випромінювань». Більшість цих засобів покликані не захистити, а швидше приспати пильність споживача, мовляв, бачите, як ми про вас піклуємося, довіряйте нам.



**За допомогою «чорного гумору» екологи намагаються попередити громадськість про потенційну небезпеку випромінювання мобільних телефонів. («Я мав би бути більш обачним, коли мені запропонували тариф «безмежні пухлини»)**

Зараз ринок пропонує велику кількість пристроїв і пристосувань, призначених для «виключення шкідливого впливу ЕМХ на здоров'я людини». Серед такого роду пристроїв є як відверто псевдонаукові розробки («біостимулюючі» пігулки, наклейки, брелоки, кліпси, — серйозно аналізувати які немає сенсу), так і цілком дієві — захисні чохла, фільтри, навішування на телефони.

Однак, уявляється, що пристрої другої групи повинні при їх застосуванні серйозно погіршувати якість, дальність і надійність цифрових систем зв'язку, а також створювати перешкоди на лінії.

Більш ефективним вважається використання гарнітури — комплекту навушників з мікрофоном, який має елементи кріплення до голови або одягу. Гарнітура не лише залишає вільними руки та захищає слух від сторонніх шумів, але і віддаляє радіопередавач телефону від голови. Однак, інші органи все одно зазнають небажаного опромінення. До того ж, повсякденне використання гарнітури породжує специфічний соціальний феномен. Пригадайте своє здивування та навіть деяке сум'яття, коли ви зустрічаєте людину, яка голосно розмовляє сама з собою.

Якщо запропоновані методи захисту мало-ефективні, то яким чином можна реально виключити, або, принаймні, послабити шкідливий вплив ЕМХ цифрового телефону на здоров'я?

Тут є над чим полатати голову вченим і винахідникам, зокрема, і майбутнім. Вкажемо один з можливих варіантів зниження потенційно шкідливої дії. Слід змінити структуру спектра цифрового сигналу, а точніше, спробувати розподілити енергію по спектру більш рівномірно: зменшити її спектральну щільність на окремих частотах. Для цього треба неперервно — від слота до слота — варіювати значенням його періоду повторення  $T$ , внаслідок чого сигнал втрачає періодичність і його спектр стає неперервним.

Задача, звичайно ж, дуже складна. Необхідно розробити нові принципи кодування, кардинально змінити елементну базу, переглянути існуючі стандарти зв'язку.

Варто усвідомлювати, що намагання за допомогою нових принципів та підходів збільшити екологічну чистоту і безпеку, може одночасно призвести і до кардинального поліпшення якості зв'язку, збільшення пропускної спроможності, мініатюризації тощо.

**А.В. Якунов,**

кандидат фізико-математичних наук,  
доцент кафедри оптики фізичного факультету  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка  
yakunov@univ.kiev.ua