

УДК 537.8

Ю. В. Крушевський, к. т. н., доц.; Ю. І. Кравцов; Я.О. Бородай

## ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИСТРОЇВ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ЛЮДИНУ

*У роботі розроблено методи розрахунку інтенсивності опромінення людини антенами базових станцій стільникового зв'язку та наближеного розрахунку часу безпечного користування мобільним радіотелефоном, наведено приклади розрахунків.*

**Ключові слова:** стільниковий зв'язок, мобільний радіотелефон, вплив на здоров'я людини.

### Вступ

Стільникова радіотелефонія є сьогодні однією з найбільш розвинутих телекомунікаційних систем. Наразі тільки в Україні нараховується більше 50 мільйонів абонентів, які користуються послугами цього виду рухомого (мобільного) зв'язку. Вітчизняні оператори мобільного зв'язку використовують системи стандартів GSM – 900: діапазон робочих частот базових станцій 925 ... 965 МГц, мобільних радіотелефонів – 890 ... 915 МГц та стандарту GSM – 1800: - 1805 ... 1880 МГц, 1710 ... 1785 МГц відповідно.

У роботі цієї системи застосовується поділ певної території на зони, чи „стільники”, у вузлах яких розташовані базові станції системи стільникового зв'язку на відстанях 0,5...1,0 кілометра одна від одної у населених пунктах і до 10 км – в інших місцевостях.

В Україні гранично допустимими рівнями дії електромагнітного випромінювання на людину, у відповідності до діючих санітарних норм і правил, є густина потоку потужності, що дорівнює 2,5 мкВт/см<sup>2</sup> – для базових станцій та 25 мкВт/см<sup>2</sup> – для мобільних радіотелефонів. До речі, у Росії вони складають 10 та 100 мкВт/см<sup>2</sup> відповідно, а у Західній Європі – у декілька разів більші, ніж у Росії.

Анени базових станцій системи стільникового зв'язку, які використовуються операторами мобільного зв'язку в Україні випромінюють потужність у межах 8...16 Вт. Вони розміщуються на дахах будинків, димових трубах тощо або на спеціальних щоглах на висотах 30 – 35 м над поверхнею землі. Ці антени мають кругові діаграми спрямованості у горизонтальній площині та гострі – у вертикальній площині, які нахилені до горизонталі під кутом 1 ... 2 градуси, маючи форму парасольки.

Мобільний радіотелефон – це малогабаритний приймально-передавальний пристрій. Потужність його випромінювання (у режимі передавання) – у межах 0,125 – 1 Вт. Вона є величиною змінною і залежить від стану каналу зв'язку „мобільний радіотелефон – базова станція”, тобто чим потужніший сигнал базової станції у точці приймання, тим менша потужність випромінювання мобільного радіотелефону. Проте у реальних умовах, як свідчить практика, вона у середньому не перевищує 0,25 Вт при роботі у населеному пункті на відкритій місцевості. В автобусі, таксі, електричці та в інших екранованих приміщеннях ця потужність може зрости до максимальної.

### Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Густина потоку потужності електромагнітного поля  $\Pi$ , яке випромінюється антеною розраховується за виразом [2]:

$$\Pi = \frac{PG}{4\pi \cdot r^2} F(\theta) \cdot F(\varphi) \cdot k, \quad (1)$$

де  $P$  – потужність випромінювання антени,  $G$  – коефіцієнт її підсилення,  $F(\theta)$  і  $F(\varphi)$  – нормовані функції спрямованості антени,  $r$  – відстань у вільному просторі між антеною і точкою спостереження, розташованою у дальній зоні поля антени.

За міжнародними вимогами потужність випромінювання стільникових телефонів вимірюють в одиницях **SAR** (Specific Adsorption Rate) – питома поглинена потужність, виражена на одиницю маси тіла чи тканини. В одиницях SI SAR визначається у Вт/кг. На сьогодні верхньою границею значення SAR у Європі є величина 0,8 Вт/кг [3].

Оскільки величину SAR виміряти досить складно, бо потрібне спеціальне обладнання та точні імітатори тканин людського організму. Не існує у світі і єдина методика таких вимірювань. Через це результати, отримані в різних незалежних центрах, можуть відрізнятись у декілька разів. Тому найбільш реальним є результат оцінювання густини потоку потужності електромагнітного випромінювання мобільного телефону, що розраховується з його потужності.

У разі дії будь-якого електромагнітного випромінювання прийнято виділяти [3] два ефекти: тепловий і нетепловий (інформаційний).

**Тепловий ефект [3].** Тіло людини, як загальновідомо, містить рідину, що за електрофізичними властивостями є електролітом (розчином у воді великої кількості кислот, солей, мікроелементів тощо), тобто є середовищем з великими діелектричними втратами електромагнітної енергії, яка витрачається на його нагрівання. Оскільки мозок людини сильно насичений рідиною, то він є середовищем, яке інтенсивно нагрівається при дії на нього електромагнітного випромінювання.

Зазначимо, що антена мобільного телефону розташована на відстані близько 5 сантиметрів від головного мозку, на який це електромагнітне випромінювання і діє. Природно, що температура відповідних ділянок мозку підвищиться. При тривалій розмові цей ефект можна відчувати по тому, як підвищується температура вухної раковини. Підраховано, що при величині SAR 4 Вт/кг протягом 30 хвилин ця температура у дорослої людини підвищується на 1 градус Цельсія. Це є шкідливим для усіх органів, функції яких порушуватимуться.

Іншим органом, особливо чутливим до дії електромагнітного випромінювання, є кришталік ока. Тіло кришталіка є желеподібною масою, що може втратити свою прозорість під дією випромінювання, тобто призвести до катаракти ока.

**Нетепловий (інформаційний) ефект.** Сутність його полягає у тому [3], що мобільні телефони стандарту GSM здійснюють передачу інформації імпульсами, об'єднаними у блоки. Блок складається з 8 імпульсів. У розпорядженні кожного користувача є тільки один із восьми імпульсів. Решта сім імпульсів належать іншим семи абонентам, які у цей час на тій самій частоті можуть вести розмови.

Тривалість одного GSM-блоку складає 4,616 мс, а отже, частота пульсацій мобільного телефону складає  $1/4,616 \approx 217$  Гц. З генерацією кожного восьмого імпульсу відбувається і пропорційне виділення енергії. Якщо номінальна потужність стільникового телефону, у відповідності до інструкції, дорівнює 2 Вт, то потужність, яка виділяється при кожному імпульсі буде  $2/8=0,25$  Вт. Блоки описаних імпульсів між мобільним телефоном і базовою станцією групуються у мультиблоки, які складаються з 26 повторень. Отже, другою частотою, яка випромінюється стільниковим телефоном, є частота  $217/26=8,35$  Гц. Більше того, деякі види стільникових апаратів, що працюють в енергозберігаючому режимі, здатні генерувати третю частоту – 2 Гц. Ось у цьому наборі низькочастотного випромінювання і криється ще одна небезпека мобільного зв'язку. Річ у тім, що згадані частоти стільникових телефонів збігаються з частотами власної, природної біоелектричної частоти активності головного мозку людини, які реєструються на електроенцефалограмі. Так частота 217 Гц збігається з так званим гамма-ритмом мозку; 8,35 Гц збігається з альфа-ритмом; 2 Гц збігається з дельта-ритмом.

Отже, ззовні до головного мозку людини переносяться сигнали, які здатні взаємодіяти з власною біоелектричною активністю головного мозку (наприклад, шляхом резонансу) і тим самим порушувати його функції. Такі змінення помітні на електроенцефалограмі і не

зникають протягом тривалого часу після закінчення розмови. Дуже важливо зазначити ще і те, що саме альфа-хвилі є надзвичайно індивідуальними, безпосередньо пов'язаними з розумовою діяльністю людини і, як вважається, є відбиттям сканування внутрішніх образів свідомості. Абстрактне мислення пов'язане саме з альфа-ритмом мозку. Під час сну переважає дельта-ритм, а гамма-хвилі переважають під час активної діяльності людини. Чи реальною є негативна дія пульсуючих джерел енергії на організм людини? Медикам відомий такий випадок, коли дія на людину пульсуючого освітлення частоти 15 Гц, маючи приховану форму фоточутливої епілепсії, призводила до виникнення нападу цієї хвороби.

Небезпеку також несе звичка деяких людей класти біля себе мобільний телефон, використовуючи його як будильник. Мобільний телефон вночі не "спить", а постійно, навіть у стані очікування виклику, працює в пульсуючому режимі.

Про більшу вразливість впливу випромінювання у молодих людей свідчать дослідження, проведені серед 11 тисяч користувачів стільникового зв'язку на замовлення Norwegian Radiation Protection Board, Національним інститутом "Робоче життя" (Швеція), а також SINTEF Unimed (Норвегія). Аналіз показав, що люди, які користувалися телефоном менше двох хвилин на день, скаржилися на дискомфорт і погіршення самопочуття. Проблеми зі здоров'ям зростають зі зростанням часу користування телефоном. Половина опитаних абонентів повідомили, що при використанні стільникових телефонів відчують неприємне розігрівання в області голови, біля вуха. На найбільший ризик наражаються молоді люди. Ті, кому ще нема 30 років, у три-чотири рази частіше відчують наслідки цього розігрівання.

Особливо чутливі до високочастотного випромінювання мобільних телефонів діти, бо їхня імунна система ще не сформована і захисні реакції організму не достатньо розвинуті. Слід зауважити, що випромінювання мобільних телефонів є дуже шкідливим для вагітних жінок, оскільки для ембріону людини це випромінювання може стати навіть згубним.

Основними симптомами несприятливої дії стільникового телефону на стан здоров'я є [3]:

- головні болі;
- порушення пам'яті і концентрації уваги;
- постійна втомлюваність;
- депресивні захворювання;
- біль і різь в очах, сухість їх слизової оболонки;
- прогресуюче погіршення зору;
- лабільність артеріального тиску і пульсу (помічено, що після розмови по мобільному телефону артеріальний тиск може підвищуватися на 5...10 мм рт. ст.);
- через 6 років користування мобільним телефоном ризик розвитку пухлини мозку може підвищитися на 50%.

### Постановка завдання

Запропонувати методи розрахунку фактичного значення інтенсивності опромінення людини антенами базових станцій системи стільникового зв'язку в умовах великого міста та наближеного розрахунку часу безпечного користування мобільним радіотелефоном, вважаючи, що спрямованість і структура поля антени мобільного телефону у досліджуваній проміжній зоні практично не відрізняться від їх характеру у зоні випромінювання. Підтвердити отримані результати прикладами з практики. Зробити висновки і надати практичні рекомендації.

### Основні матеріали статті

#### Розрахунок впливу електромагнітного випромінювання базових станцій на людину

Скористаємось виразом (1), але внісши туди два коефіцієнти  $k_1$  та  $k_2$ . І тоді густину потоку

потужності електромагнітного поля, яке випромінюється антеною базової станції і діє на людину, можна розрахувати за формулою:

$$\Pi = \frac{PG}{4\pi \cdot r^2} F(\theta) \cdot F(\varphi) \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2)$$

де  $k_1$  – модуль коефіцієнта відбиття на границі ”повітря – стіна будівлі”,  $k_2$  – модуль коефіцієнта заломлення (проходження) на границі ”стіна будівлі чи перекриття між поверхами – повітря”. Значення цих коефіцієнтів залежать від кута падіння радіопроменя на стіну чи перекриття та від електрофізичних параметрів матеріалів, з яких виготовлене перекриття чи складена стіна. Проте відомо, що ці коефіцієнти за модулем, так само, як і функції  $F(\theta)$  та  $F(\varphi)$ , не можуть перевищувати одиницю.

Виходячи з формули (2), бачимо, що вибрані умови є найгіршими для здоров'я людини. Заради зручності користування формулою (2), подамо  $P$  – у мікроватах,  $r$  – у сантиметрах,  $\Pi$  – у мВт/см<sup>2</sup> і перепишемо її таким чином:

$$\Pi = \frac{25PG}{\pi \cdot r^2}. \quad (3)$$

Розв'язавши рівняння (3) відносно  $r$ , отримаємо формулу:

$$r = 5 \sqrt{\frac{PG}{\pi \cdot \Pi}}, \quad (4)$$

за якою можна визначити мінімальну відстань від антени, на якій інтенсивність опромінення буде дорівнювати  $\Pi$  мкВт/см<sup>2</sup> при потужності випромінювання  $P$  Вт і коефіцієнті підсилення  $G$  дБ антени базової станції.

Антенна базової станції має діаграму спрямованості кругову в горизонтальній площині та вузьку (7° по половинній потужності) у вертикальній площині. Вона також має малий нахил (2°) напрямку максимуму випромінювання по відношенню до поверхні землі.

### Приклад 1

Розглянемо типовий випадок, наприклад, коли  $P = 8$  Вт,  $G = 17$  дБ і висота підняття антени над поверхнею землі  $h = 32$  м. Якщо у рівняння (3) підставити зазначені величини, а  $\Pi$  взяти рівним 2,5 мкВт/см<sup>2</sup> – гранично допустимій за медико-санітарними нормами величині, то відстань  $r$  у напрямку основної пелюстки діаграми спрямованості антени буде рівною 35,8 м. Отже, уже на відстані 36 м від антени у напрямку найпотужнішого пучка променів для людини випромінювання стає безпечним. Очевидно, що на цій самій відстані від антени в інших напрямках гарантія безпеки буде ще більшою. Безпосередньо під антеною та в інших напрямках діють бічні пелюстки діаграми, де інтенсивність випромінювання антени зменшується принаймні на порядок, точки з допустимими значеннями густини потоку потужності будуть знаходитись на відстанях не більших 10 м від антени.

Якщо, наприклад, антенна базової станції розташована на даху житлового будинку на висоті 5 м, то мешканці навіть верхнього поверху, будучи захищеними залізобетонним перекриттям, опромінюватимуться з інтенсивністю на порядок нижчою за допустиму норму. Щодо жителів сусідніх будинків, то достатньо, щоб верхні поверхи були нижчими за антену і знаходились від неї на відстані не менше ніж 30 м. Ця умова завжди виконується при дотриманні норм на відстань між будинками при будівництві.

Пішоходи автоматично попадають у зону безпеки, навіть коли з тротуару вони бачать антену базової станції, бо відстань до неї збільшується на значення висоти будинку, на якому встановлена антенна. Ще менше опромінюються люди у приміщенні чи на вулиці при попаданні на них хвилі, відбитої від стіни будівлі.

### Розрахунок часу безперервного користування мобільним радіотелефоном

Якщо потужність випромінювання антени мобільного радіотелефону позначити через  $P_m$ ,

коефіцієнт підсилення антени телефону – через  $G_M$ , відстань до точки опромінення – через  $r$ , то наближено для проміжної й орієнтовно для ближньої зон середнє значення густини потоку потужності  $P_M$ , яка випромінюється радіотелефоном, можна розрахувати за формулою:

$$P_M = \frac{P_M \cdot G_M}{4\pi \cdot r^2}. \quad (5)$$

Поділивши  $P_M$  на гранично допустиме значення потоку потужності  $P_{доп} = 25$  мВт/см<sup>2</sup>, отримаємо число  $k$ , яке показує у скільки разів  $P_M$  – фактична інтенсивність опромінення – перевищує допустиму:

$$k = \frac{P_M}{P_{доп}}. \quad (6)$$

Таке перевищення мало б місце, якби об'єкт опромінення перебував у потоці потужності цілодобово.

Отже, щоб визначити гранично допустимий час безпечної роботи  $t$  мобільного телефону протягом доби, досить 24 години (тривалість доби) розділити на коефіцієнт перевищення  $k$ :

$$t = \frac{24}{k}. \quad (7)$$

Підставивши значення  $P_M$  з (4) в (5) та нове значення  $k$  в (6), отримаємо :

$$t = \frac{96\pi \cdot r^2 \cdot P_{доп}}{P_M \cdot G_M}. \quad (8)$$

Для зручності користування цією формулою години переведемо у хвилини, потужність  $P_M$  виразимо у мікроваттах, відстань  $r$  – у сантиметрах, і тоді за остаточною формулою матимемо результат у хвилинах:

$$t = \frac{5,76\pi \cdot r^2 \cdot P_{доп}}{P_M \cdot G_M \cdot 10^3}. \quad (9)$$

## Приклад 2

Вибираємо практично середнє значення потужності випромінювання мобільного телефону:  $P_M = 2 \cdot 10^5$  мкВт;  $r = 5$  см (відстань від антени до голови користувача);  $P_{доп} = 25$  мкВт/см<sup>2</sup>;  $G = 1$  (вважаючи, що у ближній зоні антена має практично одиничну спрямованість). Підставивши ці значення у формулу (9), матимемо:  $t = 56,52$  хвилини.

Округлюючи отриманий результат на користь здоров'я користувача, зауважимо, що загальний час користування мобільним радіотелефоном слід обмежити 50 хвилинами на добу. У разі необхідності постійного його використання в екранованому приміщенні (в кабіні чи салоні автомобіля тощо) цей час слід скоротити у 4 – 5 разів.

## Висновки та рекомендації:

1. Випромінювання антен базових станцій практично ніякого впливу на здоров'я людини не мають.
2. При користуванні мобільним радіотелефоном дорослою людиною на відкритому просторі протягом доби безпечно говорити не більше 50 хвилин.
3. Дітям до 16 років безпечно користуватися мобільним телефоном не більше 20 хвилин протягом доби.
4. Малим дітям використання мобільного телефону слід заборонити.
5. Час постійного користування мобільним телефоном дорослою людиною в екранованих приміщеннях (кабіна, салон автомобіля, мікроавтобуса тощо) має бути обмеженим до 15

хвилин на добу.

6. Пам'ятайте, що ваш мобільний телефон увесь час перебуває в активному стані очікування радіозв'язку, і тому не носіть його у кишені чи на грудях як медальйон, особливо це стосується молодих людей, вагітних жінок і дітей.

7. При користуванні мобільним телефоном не затуляйте задню кришку його корпусу долонею або пальцями руки. Наше тіло сильно поглинає електромагнітну хвилю, ослаблюючи сигнал від базової станції, що змушує телефон працювати з підвищеною потужністю.

8. Не користуйтеся радіотелефоном за кермом, бо це ще й відволікає увагу водія.

9. Не купуйте радіотелефон „на руках” без супроводу відповідної технічної документації, згадайте, наприклад, про SAR-показник.

10. Користуйтеся мобільним телефоном тільки у разі необхідності.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1992. – 412с.
2. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1972. – 470с.
3. Сотовые телефоны. – Режим доступа: <http://electromag.by.ru/sar.html>.

**Крушевський Юрій Володимирович** – доцент кафедри радіотехніки;

**Кравцов Юрій Іванович** – старший викладач кафедри радіотехніки;

**Бородай Ярослав Олександрович** – магістр кафедри радіотехніки.

Вінницький національний технічний університет.