

УДК 654.165:613.648(045)

¹Г.М. Франчук, д.т.н., проф.
²А.С. Конахович, асп.**АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ
ЗА ФАКТОРОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Національний авіаційний університет

¹E-mail: feb@nau.edu.ua²E-mail: ekopanda@gmail.com*Розглянуто принцип дії засобів стільникового зв'язку. Подано аналіз їх негативного впливу на живі організми за фактором неіонізуючого електромагнітного випромінювання.**Рассмотрено принцип действия средств сотовой связи. Представлен анализ их негативного влияния на живые организмы по фактору неионизирующего электромагнитного излучения.**Satellite communications operating principle has been reviewed as well as the analysis of their negative influence on living organisms regarding electromagnetic radiation.***Постановка проблеми**

Електромагнітне випромінювання (ЕМВ) є одним з багатьох абіотичних факторів техногенного походження, які впливають на екосферу Землі.

Сумарна потужність техногенних ЕМВ у всьому діапазоні частот від 5 до 3000 Гц постійно зростає та вже значно перевищує рівні радіовипромінювання природного походження, що розглядається екологами як забруднення навколишнього середовища за фактором ЕМВ.

Очікуване широке розповсюдження у світі нових телекомунікаційних технологій (мережних, персональних, стільникових, супутникових) змінює характер цього забруднення, стає глобальним явищем, переростаючи локальні рамки.

Мета роботи – вивчення впливу дії ЕМВ на довкілля та здоров'я людини.

Проблемі впливу ЕМВ на довкілля присвячено багато публікацій, проводяться дослідження щодо взаємодії ЕМВ з біологічними об'єктами [1–6], але залишається багато нез'ясованих питань через складність предмету досліджень (організм людини, навколишнє природне середовище, які підлягають впливу й інших негативних факторів), його реакцій на зовнішній вплив через щорічне зростання кількості об'єктів ЕМВ та розвитком інших, більш удосконалених технічно телекомунікаційних технологій [7].

Для попередження шкідливого впливу ЕМВ на здоров'я населення фахівці Інституту гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва Академії медичних наук України й інші науковці та практичні установи розробили ряд нормативно-методичних документів, що регламентують

гігієнічні умови розміщення та експлуатації радіотехнічних об'єктів та високовольтних електроустановок:

– Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу ЕМВ (№ 239–96);

– Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт в невимкнених електроустановках напругою до 750 кВ включно (№ 198–97);

– гігієнічні нормативи для населення на магнітне поле промислової частоти.

Починаючи з 1978 р. інститутом було розроблено:

– п'ять законодавчих документів типу санітарних норм і правил;

– одинадцять методичних вказівок;

– тридцять гігієнічних регламентів типу гігієнічних нормативів.

Перелічені документи передбачають [8]:

– гігієнічне нормування ЕМВ у населених місцях;

– санітарно-гігієнічні вимоги щодо розміщення та експлуатації радіотехнічних та електротехнічних засобів;

– правила розміщення і забудови житлових масивів, окремих житлових, громадських і інших будинків у зоні розміщення існуючих джерел ЕМВ.

Згідно з державними санітарними нормами та правилами захисту населення від впливу ЕМВ граничнодопустимі рівні (ГДР) напруженості електричного поля виключаючи нижню та включаючи верхню межу частоти наведено в таблиці.

Граничнодопустимий рівень електромагнітного поля, що створюють інші типи станцій, які не ввійшли до таблиць, наведених у праці [9],

в тому числі радіолокаційними засобами, що працюють в імпульсному режимі випромінювання, до розроблення індивідуальних нормативів тимчасово встановлюється $2,5 \text{ мкВт/см}^2$, або 3 В/м , як для діапазонів дуже високої частоти (ДВЧ) та ультрависокої частоти (УВЧ).

Граничнодопустимі рівні електромагнітних полів

Метричний розподіл діапазонів	Частота, МГц	Довжина хвиль, м	ГРД для населення, В/м
Кілометрові хвилі (низькі частоти)	0,030–0,3	10^4 – 10^3	25
Гектометрові хвилі (середні частоти)	0,3–3	10^3 –100	15
Декаметрові хвилі (високі частоти)	3–30	100–10	$3 \lg a$
Метрові хвилі (ДВЧ)	30–300	10–1	3

Примітка: a – довжина хвилі або $\text{ГДР}=7,43-3 \lg f$ (f – частота [9, додаток 3]).

Принцип побудови та дії систем стільникового зв'язку

Для реального оцінювання небезпеки, що створює ЕМВ засобів стільникового зв'язку, насамперед необхідно з'ясувати принцип його роботи.

Система стільникового зв'язку будується у вигляді сукупності чарунок або стільників, що покривають територію, яка обслуговується.

У центрі кожної чарунки міститься базова станція (БС), яка обслуговує всі радіотелефонні апарати в межах своєї чарунки.

Під час переміщення абонента його обслуговування передається від однієї БС до іншої.

У режимі очікування телефон також є джерелом ЕМВ.

У такому режимі телефон постійно відслідковує:

- виміри інформації системи, пов'язані зі зміною режиму роботи стільникової системи;
- виміри, пов'язані з переміщенням мобільного апарата;
- команди системи, наприклад, команду підтвердження своєї працездатності;
- отримання викликів із боку стільникової мережі (вхідні виклики).

Мобільний телефон вимірює та періодично передає на базову станцію:

- рівень сигналу БС свого стільника та 16 сусідніх (суміжних) стільників;
- якість сигналу.

Окрім того, мобільний апарат може періодично підтверджувати свою працездатність, передаючи відповідні сигнали (підтвердження реєстрації або уточнення місця розташування).

У момент отримання виклику з боку БС мобільний телефон видає потужний тестовий сигнал для перевірки якості зв'язку з БС.

Якщо сигнал проходить без викривлення, потужність вихідного сигналу зменшується і знову відбувається передавання тестового сигналу.

Якщо тестовий сигнал проходить з помилкою, потужність вихідного сигналу збільшується.

Так триває доти, доки не буде досягнуто якісного зв'язку за мінімального рівня випромінювання.

Цей процес забезпечує зменшення витрат енергії батареї та зменшує потужність випромінювання, яке впливає на користувача.

Така сама процедура відбувається у разі вихідного виклику.

Як тільки абонент натискає кнопку виклику, апарат видає потужний тестовий сигнал для перевірки якості зв'язку з БС.

У разі переміщення по місту апарат переміщується між БС.

У момент переходу із зони обслуговування однієї БС в зону обслуговування іншої БС, окрім передавання тестових сигналів для перевірки якості зв'язку, відбувається передавання сигналів для ідентифікації мобільного апарата та реєстрації його в новому стільнику.

Отже, мобільний телефон опромінює організм людини не тільки під час розмови, але й під час носіння його в чохлі або кишені.

Усі системи стільникового зв'язку працюють у певному стандарті.

Стандарт стільникового зв'язку – це система технічних параметрів та узгоджень для забезпечення функціонування системи стільникового зв'язку. Саме від стандарту, а точніше – від частоти, на якій працює телефон, залежить якість зв'язку.

Стандарти NMT-450i, GSM-900 застарілі та рідко використовуються.

Оператори МТС, Київстар, Білайн, Life користуються стандартами зв'язку GSM-1800. Цей стандарт забезпечує передавання голосу та даних мобільного зв'язку.

Стандарт GSM-1800 працює на частоті 1800 МГц.

Для поліпшення процесу передавання даних (в параметрі збільшення швидкості передачі) було впроваджено стандарт WCDMA, за рахунок чого з'явилась можливість обслуговувати більшу кількість абонентів одночасно.

Але для досягнення цієї мети збільшили частоту ретрансляторів до 2100 МГц.

У зв'язку зі збільшенням частоти збільшилась щільність сигналу, що зменшило можливість його проходження, як результат – збільшилась кількість БС.

Особливість використання того чи іншого стандарту залежить від кількості абонентів.

У великих містах використовують високочастотні БС (WCDMA з частотою 2100 МГц), в малих населених пунктах та полях – GSM-900 із частотою 900 МГц.

В Україні стільниковий мобільний зв'язок широкого розвитку одержав більш як 10 років тому.

Спочатку це були телефони стандарту NMT-450.

Радіотелефони стандарту NMT-450 працюють на частоті 435–460 МГц, тобто в УВЧ-діапазоні.

Перші зразки таких радіотелефонів мали достатньо великі розміри. Їх потужність досягала 3–5 Вт і більше.

Радіотелефони стандарту NMT-450 були достатньо потужними джерелами ЕМВ, яке могло негативно впливати на стан здоров'я користувачів мобільних терміналів.

Останнє зумовило проведення ряду медикобіологічних досліджень, в результаті яких розробили гігієнічні нормативи на ЕМВ радіотелефонів стандарту NMT-450. Це призвело до розроблення нових більш безпечних радіотелефонів стандарту NMT-450 [10].

В останні роки поряд з радіотелефонами стандарту NMT-450 в Україні широко застосовують радіотелефони стандарту GSM-900/1800. Їх потужність становить 0,8-2 Вт, і вони більш безпечні для здоров'я людини.

Особливості впливу електромагнітного випромінювання на функціонування живих організмів

Усі радіотелефони стільникового зв'язку незалежно від стандарту, в якому вони працюють, є потенційними джерелами ЕМВ, яке за певних умов може негативно впливати на стан здоров'я користувачів радіотелефонів.

Радіотелефони випромінюють електромагнітне поле (ЕМП) в горизонтальній і вертикальній площині нерівномірно.

На характер розподілу випромінювання в просторі суттєво впливає присутність абонента (користувача радіотелефону).

Рівень ЕМП під час цього різко змінюється через його поглинання тілом людини, особливо головою до 70%.

Нормовані діаграми направленості за потужністю випромінювання $F^2(\varphi)$ в головній горизонтальній площині від кута $\varphi[0;360^\circ]$ для мобільного телефону показано на рис. 1.

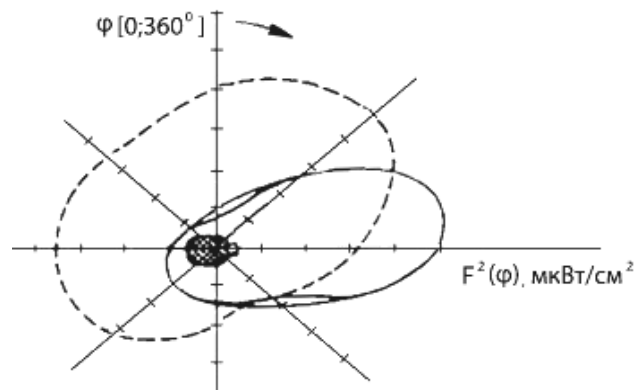


Рис. 1. Нормовані діаграми направленості абонентської станції в горизонтальній площині:
– з урахуванням голови користувача;
- - - без урахування голови користувача

Безпосередній ефект впливу випромінювань на функціонування систем організму визначає насамперед термічні впливи, які опосередковані переважно високочастотними випромінюваннями мобільних телефонів.

Термічний ефект з'являється за рахунок того, що ЕМП в середовищах, які проводять електричний струм (до таких відносяться і тканини організму людини), викликають струми іонної провідності та орієнтаційну поляризацію молекул згідно зі зміною частоти ЕМП [11].

Оскільки в'язкість і сили зчеплення між молекулами перешкоджають коливанням полярних молекул у змінному ЕМП, то втрата енергії ЕМП відбувається за рахунок поглинання її тканинами.

Велике значення має струм зміщення, зумовлений переорієнтацією молекул води [12]. Цей струм викликає нагрівання тканин організму.

Наявність в організмі людини органів зі слабо вираженим механізмом терморегуляції (мозок, очі та ін.) призводить до їхньої підвищеної чутливості до ЕМВ.

Експериментальні дослідження впливу активації мобільного телефону системи GSM на функціональну активність мозку людини встановили, що після закінчення активації мобільного апарату спостерігається значне підвищення рівня спектральної потужності в параметрах електроенцефалографії (ЕЕГ). Цей фактор впливає на біоритмічну активність електрогенезу мозку, формуючи модифіковану біоритмічну структуру нервової регуляції, яка суттєво відрізняється від природної [4].

Розподіл амплітудних значень спектральної потужності для піддослідного (а) – вплив ЕМВ – та піддослідного (б) – контроль – протягом 4 хв у діапазоні 2–4 Гц показано на рис. 2.

Знімання показників ЕЕГ проводилось монополярно за 10-ма відведеннями, згідно зі стандартної схеми.

Аналіз отриманих результатів констатує наявність достатньо вираженої закономірності, що полягає у протіканні видимих змін амплітудної спектральної потужності під час активації стільникового телефону та у відсутності певних змін у контрольного піддослідного.

Також встановлено факт впливу ЕМВ на нервову систему. Механізм цього процесу полягає в тому, що поля порушують проникливість клітинних мембран для іонів кальцію [11]. У результаті нервова система починає невірно функціонувати. Було проведено численні експериментальні дослідження щодо поведінкових реакцій тварин під час дії ЕМП, що створюється засобами стільникового мобільного зв'язку.

Використання методики автоматичної рестрації локомоторної активності тварин дозволило інтегрально оцінити уроджені форми поведінки на базі вивчення рухливої активності тварин у лабіринті [1].

У результаті проведених досліджень зафіксували два різних показники стану центральної нервової системи у вигляді відповідної реакції на вплив електромагнітної енергії:

- активація (збудження);
- пригнічення (гальмівні процеси).

Особливу небезпеку дія ЕМП, що створюється засобами стільникового мобільного зв'язку, становить для дитячого організму [13].

Потенційний ризик для здоров'я дитини полягає в такому:

- поглинання електромагнітної енергії в голові дитини значно вище, ніж у дорослого (менший розмір голови, тонша кістка черепа, менша відстань від антени до голови і т.д.);

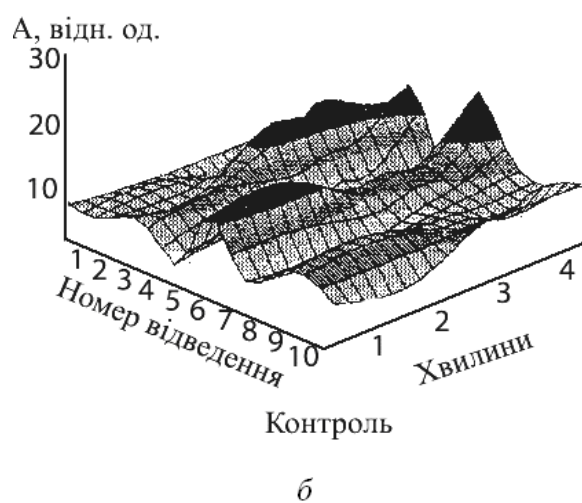
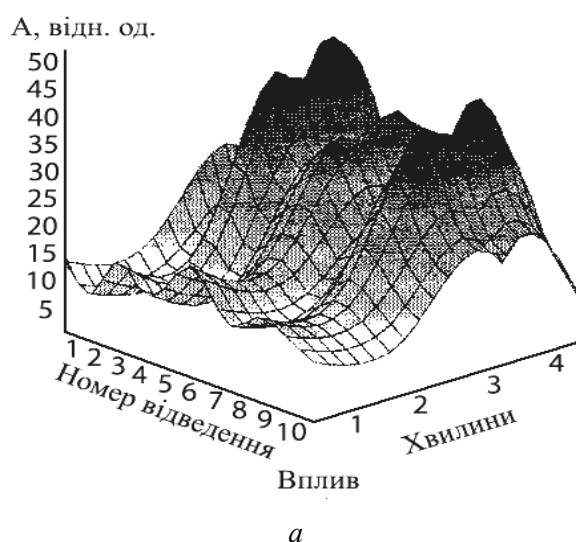


Рис. 2. Розподіл амплітудних значень спектральної потужності для піддослідного:
а – вплив ЕМВ;
б – контроль

- мозковій тканині дитини властива більша провідність;

- дитячий організм має більшу чутливість до ЕМП, ніж дорослий;

- мозок дитини має більшу схильність до накопичення несприятливих реакцій в умовах повторних опромінювань ЕМП;

- електромагнітне поле впливає на формування процесів вищої нервової діяльності.

Діти користуються мобільними телефонами з раннього віку та будуть продовжувати їх використовувати дорослими. Стаж контакту дітей з ЕМВ буде суттєво більшим, ніж сьогодні у дорослих людей.

Найближчим часом слід очікувати такі можливі розлади:

- послаблення пам'яті;

- зниження уваги;

- зниження розумових та пізнавальних здібностей;

- роздратування;

- порушення сну;

- схильність до стресорних реакцій;

- підвищення епілептичної готовності.

Можливі віддалені наслідки проявляються у появі пухлини мозку, слухового та вестибулярних нервів у віці 25–30 р, хвороби Альцгеймера, можливі «набута недоумкуватість», депресивний синдром та інші прояви дегенерації нервових структур головного мозку у віці 50–60 р [2; 3].

Висновки

Останнім часом набуто значний досвід у вивченні біологічної дії ЕМП, що створюється засобами стільникового зв'язку.

Незважаючи на велику кількість робіт щодо з'ясування наслідків ЕМВ, механізми розвитку такого впливу остаточно не з'ясовані.

Недостатньо вивчені біохімічні механізми взаємодії ЕМП і організму.

Не розроблено ґрунтовних критеріїв оцінки та розмежування чутливості й пошкодження під час дії ЕМП.

Прогнозування впливу ЕМВ на живий організм та вивчення особливостей його дії в певних умовах є важливим аспектом гігієнічного нормування.

Таким чином, необхідно [3]:

- виявити та проаналізувати закономірність зв'язку метаболічних ефектів з параметрами ЕМП;

- удосконалити спостереження взаємовідношення «рівень–час–ефект» на експериментальній моделі різних частотних діапазонів;

- обґрунтувати критерії оцінки біологічної активності ЕМВ

Проведення біологічних експериментів потребує здійснення моделювання реальних умов дії фактора на організм згідно з такими вимогами:

- динамічний діапазон змін інтенсивності діючого фактора повинен відповідати умовам його розподілу у навколишньому середовищі;

- фізичні характеристики ЕМП (структура, поляризація, модуляція, частота та спектр сигналу) повинні відповідати чи бути максимально наближені до реальних умов дії;

- часові параметри моделі (час опромінення та періодичність) повинні визначатися характером опромінювання в натурних умовах.

На сьогодні ситуація, пов'язана з дією ЕМВ, яке створюється засобами стільникового мобільного зв'язку, має критичний характер і змушує серйозно замислитись над забезпеченням захисту навколишнього природного середовища та здоров'я населення.

Для попередження гіпотетично встановлених наслідків впливу ЕМВ на живі організми необхідно:

- продовжити наукові дослідження, вдосконалюючи методологічну базу експериментів, з вивчення медико-біологічних наслідків дії ЕМВ, що створюються радіотехнічними засобами стільникового зв'язку;

- провести облік усіх джерел ЕМВ на території України;

- визначити рівні навантаження на населення ЕМВ;

- створити медико-географічні карти електромагнітної ситуації для окремих міст України;

- провести санітарно-гігієнічну паспортизацію всіх радіотехнічних об'єктів України;

- створити систему моніторингу ЕМВ;

- продовжити вивчення комбінованої дії ЕМВ різних частотних діапазонів та інших шкідливих факторів;

– удосконалити та розробити нові нормативно-методичні документи з охорони здоров'я населення від впливу ЕМВ, що створюються радіотехнічними та електричними засобами радіомовлення, телебачення, радіолокацією, стільниковим та супутниковим зв'язком.

Література

1. *Зотов С.В.* Поведінкові реакції тварин при дії ЕМП, які створюються засобами стільникового мобільного зв'язку стандарту GSM-900 / С.В. Зотов // Гігієнічна наука та практика на рубежі століть / під ред. Ю.І. Кундієва, А.М. Сердюка, Є.Г. Гончарука, О.В. Лапушенко. – Дніпропетровськ: АРТ-Пресс. – 2004. – Т.І. – С. 260–264.
2. *Нікітіна Н.Г.* Вплив антропогенних ЕМВ на здоров'я населення/ Н.Г. Нікітіна // Гігієнічна наука та практика на рубежі століть / під ред. Ю.І. Кундієва, А.М. Сердюка, Є.Г. Гончарука, О.В. Лапушенко. – Дніпропетровськ: АРТ-Пресс. – 2004. – Т.І. – С. 267–269.
3. *Томашевська Л.А.* Роль біохімічних досліджень в обґрунтуванні безпеки електромагнітних факторів довкілля / Л.А. Томашевська // Гігієнічна наука та практика на рубежі століть / під ред. Ю.І. Кундієва, А.М. Сердюка, Є.Г. Гончарука, О.В. Лапушенко. – Дніпропетровськ: АРТ-Пресс. – 2004. – Т.І. – С. 273–275.
4. *Побаченко С.В.* Влияние активации мобильных телефонов стандарта GSM на биоритмическую структуру электрогенеза головного мозга человека / С.В. Побаченко, А.В. Пономарев // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2009. – №3. – С. 50–55.
5. *Информационно-волновая концепция противодействия электромагнитному загрязнению окружающей среды и другим негативным факторам антропогенного происхождения / С.Н. Даровских, А.А. Разживин, Ю.И. Кудряшова, М.Е. Кузнецов // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – №11. – С. 20–28.*
6. *Харламов А.В.* Возможный механизм резонансного воздействия электромагнитных волн на биологические объекты / А.В. Харламов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2007. – №5. – С. 10–14.
7. *Маслов О.Н.* Электромагнитная безопасность персональных средств связи / О.Н. Маслов // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2008. – №3. – С. 34–43.
8. *Сердюк А.М.* Электромагнітна безпека – сучасна гігієнічна проблема, шляхи її вирішення / А.М. Сердюк, Ю.Д. Думанський// Гігієнічна наука та практика на рубежі століть/ під ред. Ю.І. Кундієва, А.М. Сердюка, Є.Г. Гончарука, О.В. Лапушенко. – Дніпропетровськ: АРТ-Пресс – 2004. – Т.І. – С. 251–254.
9. *Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: Наказ Міністерства охорони здоров'я України №239 від 01.08.96*
Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?user=o31y1996>.
10. *Кирюшин Г.В.* Проектирование, развитие и электромагнитная безопасность сетей сотовой связи стандарта GSM: учеб. пособие / Г.В. Кирюшин, О.Н. Маслов, В.Г. Шаталов / под ред. О.Н. Маслова. – М.: Радио и связь, 2000. – 148 с.
11. *Азнакаєв Е.Г.* Біофізика: навч. посіб./ Е.Г. Азнакаєв – К.: Кн. вид-во НАУ, 2005. – 308 с.
12. *Азнакаєв Е.Г.* Біомедична інженерія (фундаментальні та прикладні аспекти): навч. посіб. / Е.Г. Азнакаєв – К.: Кн. вид-во НАУ, 2007. – 392 с.
13. *Трубчанінова Н.С.* Комп'ютер та мобільний телефон: благо цивілізації чи небезпека для життєдіяльності людини? / Н.С.Трубчанінова, Ф.М. Трубчанінов // Довкілля та здоров'я. – 2007. – №3(42) – С. 43–44.