

Как работи GSM мрежата?

Пламен Данков

(продължение)

5. Вреден ли е GSM? (или как да се пазим от мобилните телефони и базовите станции)

Когато пишех първите две части на статията “Как работи GSM мрежата?”, поне 5-6 човека ми се обадиха и ме питаха за вредата от “джиесемите” и особено за вредата от базовите станции. Преди 3 седмици дойде един човек на средна възраст и ми каза, че на 25 метра от къщата му, върху покрива на съседен блок, има антени на GSM базови станции на два оператора накуп. Буквално сподели: “От година и половина, откакто монтираха антените, няма живот – не мога да спя, боли ме глава, вдигнах кръвното, постоянно съм нервен, не мога да се концентрирам. Същото е и при жена ми. Но повече ме е страх за детето”. Дълго говорихме – цял час, макар да имах друга спешна работа. Остана доволен от разговора, но накрая ме попита, може ли да осъди мобилните оператори за антените, защото вредят на него и семейството му. Отговорих му – не се мъчи, вредата не може да се докаже, поне не сега, търси юридически аргументи – дали антените са поставени редовно, по правилата. Проверих лично на адреса, без той да знае: антените са монтирани безобразно близо до къщата му.

Защо ме търсят тези хора? Занимавам са с проблемите на биологичното влияние на микровълните поне от 1990 г., но между другото. Когато за първи път прочетох, осъзнах и споделих с други хора, че мобилните телефони могат да имат вредно влияние върху човека, всички ме гледаха като изкопаемо. Помня колко се опъвах да стана мобилен абонат. А за базовите станции много малко хора бяха чували, още по-малко ги бяха забелязвали и аз препоръчвах на студентите си, за развлечение, да ги откриват по покривите на сградите в София. Но постепенно нещата се промениха; хората започнаха да разбират. Няма да забравя един случай. Възрастен интелигентен човек дойде при мен, показа ми една стара Nokia и ми каза: “Ето този телефон уби сина ми. Тумор в мозъка, от страната, където държеше телефона си при разговор. Ползваше го е непрекъснато поне от 10 години, когато работеше в ЮАР”. Друг случай. Един ден много близо до градинката, където всеки ден водех децата си да играят, монтираха антени за базови станции – много близо, на 30 метра от люлките, точно по посока на лъча. Аз знаех какво значи това, но майките се питаха тревожно. Тогава една майка им отговори: Това са антени за базови станции на GSM. Много са мощни, излъчват енергия и в Интернет пише, че са вредни. Аз не коментирах нищо, но спрях да водя децата си да играят там.

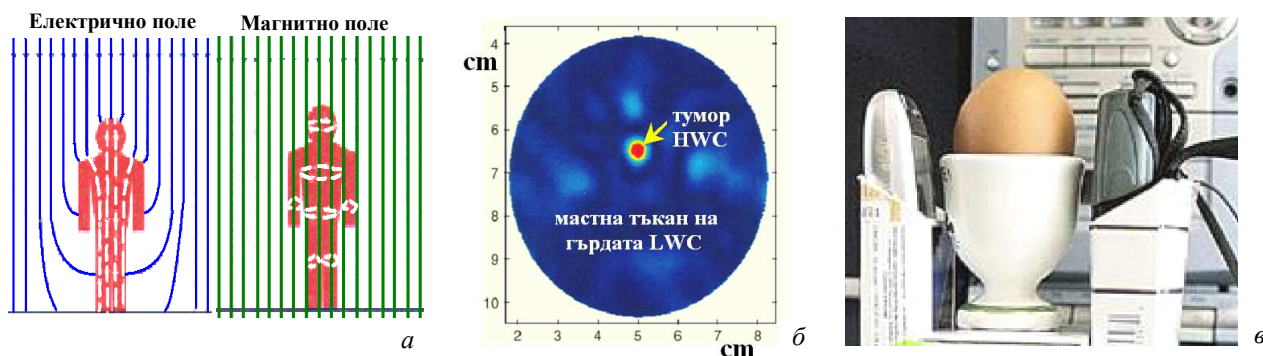
Днес мобилните телефони са адски много (всички говорят и то по много), а антените на базовите станции дори и бабите ги знаят. Постепенно се появили и въпросите. Не зная защо ме търсят толкова често по тези теми и как точно ме намират (по телефона, e-mail-a, в кабинета, дори в къщи). Най-често съвсем непознати хора. Постепенно разбрах. Просто в България не се говори по тези проблеми (или поне недостатъчно малко). Мобилните оператори – никак, отговорни институции – срещу определени пари в брой, журналистите – каквото намерят в Интернет и в чуждата преса. Но от началото на 2009 година нещо се промени. Всички усетиха.

Тук ще се опитам да дам отговор на някои въпроси от популярна научна гледна точка. Без журналистически трикове, административно измъкване или Интернет внушения.

5.1 Биологично действие на микровълните върху човека

От енергетична гледна точка съществуват два типа електромагнитно лъчение: *йонизиращо* (с енергия на кванта $hf \geq 10$ eV) и *нейонизиращо* (с енергия на кванта $hf < 10$ eV) (h – константа на Планк, f – честота), което е свързано със съответното основно биологично действие. Към първият тип принадлежат рентгеновите (X-) лъчи, γ -лъчите, твърдите ултравиолетови (UV) лъчи. При тях енергията на кванта на съответното лъчение се оказва по-висока от енергията на най-слабите молекулни връзки ΔE_{min} , т. е. $hf > \Delta E_{min}$, и той може да разрушава директно биологични тъкани, като йонизира молекулите и атомите на клетките им ($hf \sim 10$ eV е минималната енергия на кванта, способна да предизвика йонизация). Обратно, по-нискоенергетичното лъчение като видимата светлина, инфрачервените лъчи (IR), микровълните (300 MHz – 300 GHz), радиочестотни (RF) сигнали (под 300 MHz) и накрая, постоянният (dc) ток, при които $hf < \Delta E_{min}$, не се наблюдават директни йонизационни ефекти. С други думи, сигналите, използвани в съвременните комуникации, са *нейонизиращо лъчение*. Действието на сигналите с ниски честоти се свързва главно с възбуждане на слаби индуцирани токове в проводящи среди, включително в биологичните тъкани. При RF сигнали тези токове са слаби и извън клетките и предизвикват основно нетоплинни ефекти (*електростимулация*), а при микровълните – водят главно до загряване на тъканите (*топлинен ефект*). При инфрачервените лъчи и видимата светлина, освен нагряване, се наблюдава и възбуждане на електронните обвивки на атомите и молекулите, и следователно – *фотохимични реакции*. Йонизиращото лъчение води главно до прекъсване на междумолекулните връзки на веществото в тъканите. Това предизвиква разрушаване на ДНК-молекулите в клетките и промяна на генетичния материал.

Човекът живее в околна среда, в която има разнообразно електромагнитно лъчение. Част от него е постоянен фактор в тази среда и съставлява *фоновото лъчение* с естествен произход. Друга част е свързана с работната му среда, а трета част се явява *рисков фактор* – това е лъчение, по-силно от фоновото, но не е резултат от работната му среда, а от странични човешки дейности. Такъв е случаят на комуникационни сигнали



Фиг. 36. а) Линии на статично електрично и магнитно поле около и в тялото на човек; б) Микровълново изображение на тумор (HWC) на фона на мастна тъкан (LWC); в) Може ли GSM телефон да свари яйце?

излъчвани в областта на населени места. На хората е известен е *радиоактивният фон* – това е йонизиращо (α -, β - и γ -) лъчение с естествен произход (земен или космически). То е важен параметър на околната среда. По подобен начин може да се въведе и *фон за нейонизиращо лъчение*, но той е по-слабо популярен. Важна роля тук играе нивото на IR, видимото и особено UV лъчение при наличие на “озонова дупка” в атмосферата. Друг силен природен източник на *dc* и нискочестотни *ac* сигнали са земното магнитно поле и електричното поле при гръмотевични бури. Ефектът на възбуждане на електростатично поле при силни гръмотевични бури е голям: от ~ 200 V/m близо до земната повърхност и ~ 50 kV/m в епицентъра. Важно за човека е наличието на повсеместно магнитостатично поле (средно ~ 50 mG), предизвикано от магнитното поле на Земята. Много силен е фонът на промишлената честота 50 (или 60) Hz, който е свързан с човешката дейност. Най-слаб е фонът на микровълнови сигнали и затова съвременните комуникации се оказват силен “замърсител” по принцип.

Известен факт е, че електростатичното поле се екранира много добре от проводящи обекти и повърхности (дървета, сгради, човешка кожа и др.), докато при магнитостатичното поле това е много трудно. И двете статични полета, обаче, силно намаляват с отдалечаване от източника. На Фиг. 36 а са показани линиите на слаби възбудени *ac* токове в човешко тяло от нискочестотни електрически и магнитни полета. Възбудените нискочестотни токове (напр. на 50-60 Hz) са извънредно слаби ($\sim$ nA) в сравнение с естествените токове на електрическата активност на сърцето и мозъка на човек, и те не могат да проникнат през клетъчните мембрани. Затова част от учените считат, че влиянието им е пренебрежимо слабо. Обратно, други учени се базират на известния “*ефект на коктейла*” (напр. тренирано ухо може да отдели познати слаби сигнали на фона на силен шум) и считат, че клетките могат да реагират на слабите индуцирани токове като на нормален сигнал на фона на силен “шум” от естествени токове. Някои изследвания потвърждават наличието на подобни ефекти на електростимулация чрез слаби *ac* токове. Най-силно въздействие се забелязва върху хора близо до *високоволтови далекопроводи*. Тук може да се наблюдават ефекти на забележима вибрация на косата и крайниците на 50/60 Hz (“изтръпване”) или усещане за слаб токов удар като при допир с незаземена метална ограда. Има множество изследвания, които доказват наличие на повишен риск от ракови заболявания при деца, живеещи до далекопроводи. Величината OR (Odds Factor) или *рисков фактор* показва дали дадено въздействие може да се свърже с даден риск (напр. раково заболяване) или не (OR = 1 – няма риск; > 1 има повишен риск; < 1 има понижен риск). Определя се за дадена голяма група от хора, подложени на даден риск и за подобна на брой контролна група, която не е подлагана на този риск. Изследванията показват, че при деца до 12 г. живеещи до 40 m от високоволтов далекопровод има 2-4 пъти (!) повишен риск (OR) от заболяване от левкемия в сравнение с контролна група. За възрастни подобен ефект практически не е наблюдаван. Спрях се на този случай, макар че не е свързан с микровълните, понеже е един от първите безспорно доказани ефекти преди повече от 15 години, довели до обезлюдяване на повечето имоти в близост до далекопроводи в много страни, дори в България.

Връщам се на микровълните като нейонизиращо лъчение, каквито са и GSM сигналите. Дори за най-високочестотният микровълнов сигнал ($f = 300$ GHz) квантът енергия е едва $hf \sim 0.0125$ eV, което е по-малко от енергията и на най-слабите междумолекулни връзки в живата тъкан (~ 0.06 eV) и дори от средната кинетична енергия на топлинното движение на молекулите при стайна температура ~ 0.025 eV. Интерес за комуникациите представляват именно механизмите на въздействие на микровълните върху живите организми, включително върху човека. Под *биологично въздействие* са подразбира появата на биохимични ефекти, психологични и поведенчески реакции на организма, тъканите и клетките под действие на лъчението. *Здравен риск* от облъчване са тези биологични промени, които могат да бъдат вредни или пагубни за организма и/или за неговото потомство. Главен механизъм за биологично въздействие на микровълните е *топлинният* – нагряване на биологичните тъкани под действие на погълната електромагнитна мощност. Доста по-голям интерес сред хората, обаче, предизвиква наличието на други, *нетоплинни механизми*. Не може да се отдели рязка граница между тези механизми и по-специално на дозата на облъчване с нейонизиращо лъчение, което ги предизвиква. *Топлинните ефекти* възникват, когато *in vivo* в тъканите се поглъща достатъчно микровълнова енергия, предизвикваща измеримо нарастване на температурата на съответната тъкан (мярката е $\Delta T > 1^\circ\text{C}$). *Микротоплинни (ендогенни) ефекти* са тези, които възникват при облъчване на организма или части от него с достатъчно голяма RF енергия, която би могла да предизвика нарастване на температурата, но такова не се

Табл. 1. Плътност, диелектрична проникваемост и проводимост на човешки тъкани in vivo при 900 MHz

тъкан	$\rho, \text{g/m}^3$	ϵ'	$\sigma, \text{S/m}$
кости	1.81	17.4	0.19
мозък (бяло и сиво вещество)	1.04	44.1	0.89
мускулна тъкан	1.04	51.8	1.11
очни ябълки	1.04	74.3	1.97
кръв	1.06	64.0	1.24
мастни тъкани	0.92	10.0	0.19
кожа	1.01	39.5	0.69

Табл. 2. Диелектрична проникваемост, проводимост и дълбочина на проникване на сигнали в човешки мускулни влакна in vivo

f, MHz	ϵ'	$\sigma, \text{S/m}$	δ, cm
0,1	1850	0,56	213
1	411	0,59	70
10	131	0,68	13,2
100	79	0,81	7,7
1000	60	1,33	3,4
10 000	42	13,3	0,27
100 000	8	60	0,03

наблюдава поради ефективна ендогенна регулация в организма (напр. $0.1^\circ\text{C} < \Delta T < 1^\circ\text{C}$). *Нетоплинни (специфични) ефекти* са тези, които възникват при облъчване на организма или части от него с RF енергия, която е недостатъчна да предизвика над обичайните температурни флукутации ($\Delta T < 0.1^\circ\text{C}$), но въпреки всичко се откриват забележими биологични ефекти.

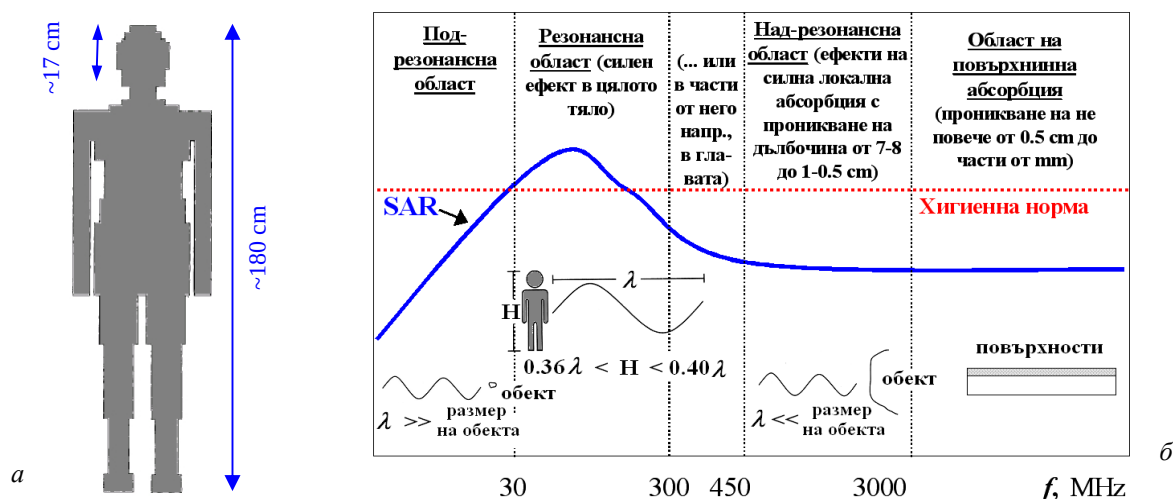
Безспорният механизъм на биологично въздействие на микровълните е *топлинният*. При него температурата на биологичните тъкани се увеличава вследствие на преобразуването на микровълновата енергия в топлинна. При топлинния механизъм от най-съществено значение са диелектричните свойства на тъканите и по-специално, тяхната комплексна относителна диелектрична проникваемост

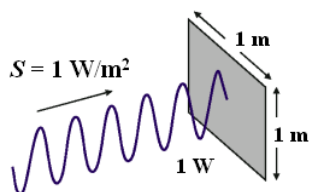
$$\epsilon_r = \epsilon'_r - j\epsilon''_r = \epsilon'_r (1 - j \tan \delta_\epsilon) = \epsilon'_r (1 - j\sigma / 2\pi f \epsilon'_r), \quad (7)$$

където ϵ'_r е реалната диелектрична проникваемост, $\tan \delta_\epsilon$ е тангенсът на ъгъла на диелектричните загуби, а σ е проводимостта на тъканите. Силно поглъщане на RF-сигнал в тъканите се наблюдава при големи стойности на $\tan \delta_\epsilon$ (респективно на σ). Това означава, че най-силно топлинно въздействие търпят тъканите с високо съдържание на вода, която в микровълновия обхват представлява силен поглъстител с $\epsilon'_r \sim 20-80$ и $\tan \delta_\epsilon \sim 1-5$. Ефектът е добре познат от действието на домакинските микровълнови печки, където най-силно се нагряват храните, богати на влага. Диелектричните свойства на много специфични видове тъкани са изследвани внимателно in vivo (в жив човешки организъм) и in vitro (в отделни, изолирани органи). За да се специфицират по-добре свойствата им, може да се направи обобщение на видовете тъкани, разделяйки ги на две условни групи: 1) с високо съдържание на вода (HWC, High-Water Content) и 2) с ниско съдържание на вода (LWC, Low-Water Content). Към първата група HWC тъкани спадат кръвта, лимфата, черния дроб, бъбреците, мускулите, сивото и бялото мозъчно вещество и пр., докато подкожието, сухожилията, костите и особено мазнините формират групата на LWC-тъканите. Характеристиките на тези групи тъкани са доста различни, като най-типичната е, че стойностите на проводимостта за HWC тъканите са с около порядък по-високи, отколкото при LWC-тъканите. В Табл. 1, 2 са дадени диелектричните параметри на някои човешки тъкани in vivo. Типичните HWC тъкани (очна ретина, мозъчна тъкан и др.) са потенциално по-податливи на микровълново нагряване, още повече, когато са и по-слабо кръвоснабдени (напр., очните ябълки). При въздействието на микровълните трябва да се отчита и дълбочината на проникване на сигнала в тъканите. Количествено се характеризира с дълбочина на скин-слоя δ (на която проникналото поле намалява e -пъти, $e = 2.71$), $\delta \sim 1/\sqrt{\pi f \mu_r \mu_0 \sigma}$, където μ_r е относителната магнитна проникваемост на тъканите (~ 1). От примера се вижда, че при ниски честоти (под 1 MHz) лъчението практически не затихва в тялото, докато при честоти над 1 GHz дълбочината на проникване δ е от няколко cm до няколко mm. Така, това се оказва един естествен механизъм на защита на живия организъм, при която колкото по-високофреkwентно е дадено лъчение, толкова по-слабо прониква навътре в тъканите.

Едно от най-известните полезни приложения на топлинното въздействие на микровълните върху тъканите на човека е в медицината – *микровълновата хипертермия*, за диагностика (откриване) и терапия (лечение) на някои видове рак (на гърдата, на простатата, на кожата и др.) – Фиг. 36 б. В основата на тези приложения е фактът, че раковите клетки (HWC-тъкани) имат по-богато водно съдържание от това на нормалните клетки около тях. Например, раковите клетки на меланомата съдържат 82% вода срещу 61% на нормалния епидермис на кожата. Така под действие на микровълнов сигнал при подходящи условия, раковите клетки се загреват до $42-46^\circ\text{C}$ срещу едва $37-38^\circ\text{C}$ на нормалната кожа и така те стават доста податливи на абсорбиране под действие на кръвния поток или при допълнителна химиотерапия.

Напоследък в Интернет и по някои електронни медии се появи ново “развлечение” за хората – демонстрация на “сваряване” на сурово кокоше яйце под действието на излъчен сигнал от 2 или повече GSM апарата – Фиг. 36 в. Целта е да се покаже нагледно топлинното действие на GSM сигнала. Как се извършва подобен експеримент? Двата апарата се свързват на “разговор” помежду си. Мястото се избира да е достатъчно далече от базова станция, за да има силен сигнал и по-забележим ефект. Яйцето се поставя в пластмасова или порцеланова чашка между работещите апарати (най-добре те да са от по-старото поколение). Освен, това, за да се изключи DTX режима (прекъснато излъчване на апаратите поради VAD детектора), до тях се включва радиоприемник, който непрекъснато възпроизвежда музика. Твърди се, че белтъкът видимо се втвърдява и побелява след 20-60 мин. Има данни за експерименти както с положителен ефект, така и с отрицателен ефект.





Фиг. 38. Дефиниция на S , връзка между електричното E , магнитното поле H и S , и формули за определяне на S

$$E = 19\sqrt{S}, \text{ V/m};$$

$$H = 4.8 \times 10^4 \sqrt{S}, \text{ A/m}; \quad (8)$$

$$S = [W/m^2]$$

$$S = S_0 \cdot F^2(\theta, \varphi) \cdot K_1 K_2$$

$$S_0 = \frac{P_T G}{4\pi d^2} \quad (9)$$

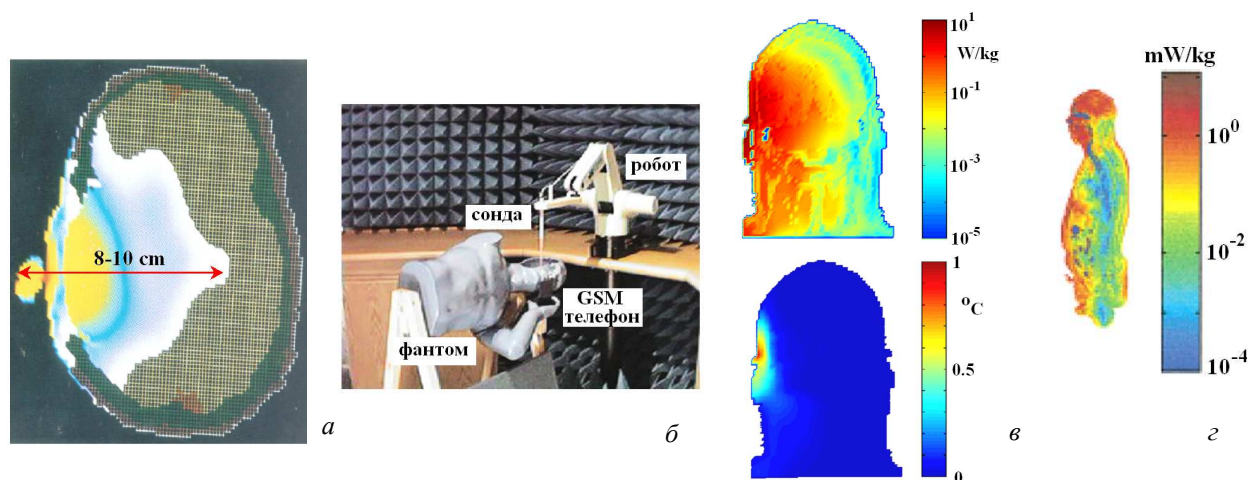
квадратично с разстоянието d . В представените горе формули (9) са приети следните означения: P_T – мощност на източника; G – усилване на антената; $EIRP = P_T \cdot G$ – еквивалентна изотропно излъчена мощност, която не зависи от типа на антената; D – диаметър (или дължина) на антената; d – разстояние от антената до мястото, където се определя S и λ – дължина на вълната. Следователно, плътността на потока на мощността S_0 в дадена точка d в далечната зона на антенното поле по посока на главния лъч може да се изчисли достоверно, ако се знаят параметрите на излъчващата антена, честотата и мощността на източника P_T на сигнал в CW-режим. В общия случай в произволна посока (елевация θ , азимут φ) от антената в далечната зона величината S се дава с израза (9), където $F^2(\theta, \varphi)$ е диаграмата на насоченост на антената по мощност; в посока на главния лъч $F = 1$. $K_1 = \tau/T$ е коефициент на запълване на сигнала, отчитащ импулсния му характер (τ е продължителност на импулса, T е период на повторение, в постоянен режим $K_1 = 1$). K_2 е коефициент, отчитащ реалните условия на отражение от земната повърхност и има стойности в интервала 1 – 1.6; при липса на отражение $K_2 = 1$.

Най-важното обстоятелство за преодоляване на вредното излъчване в комуникациите е фактът, че плътността на потока на мощността спада квадратично с разстоянието. Това означава, че разстоянието е съществен фактор за предпазване от нейонизиращо лъчение. В сила е следното правило: не стой близо до излъчваща антена, без това да е необходимо! В повечето случаи това е напълно достатъчно за предпазване. Но има два случая, при които това не може да се реализира. Първо, при мобилните телефони излъчващата антена на MS се доближава до непосредствена близост до главата на човека, а във втория случай базовата станция, разположена близо до жилищни помещения, не може да се пренебрегне.

За съжаление, плътността на потока на мощността S , която показва какво е нивото на сигнала в дадена точка, не отчита в каква тъкан попада този сигнал и колко се нагрява тя. За тази цел се въвежда нова физическа величина, *специфична абсорбирана мощност* P_{abs} , известна като SAR (Specific Absorption Rate). Всъщност, SAR е важна дозиметрична характеристика на нейонизиращото лъчение и представлява осреднената стойност на погълнатата микровълнова енергия W_{abs} в тъканите на човека или други биологични обекти (подобно на въвеждането на понятието “доза” при йонизиращо лъчение). Осредняването става по времето за период 30 s, и по масата на тъканта за всеки 1 g (мярка за осредняване, приета в САЩ) или за всеки 10 g (мярка, приета в Европейския съюз). Долу са дадени формули за определяне на SAR.

$$SAR, \text{ W/kg} = P_{abs} = \frac{\sigma |E_{local}|^2}{\rho}; \quad SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW_{abs}}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW_{abs}}{\rho dV} \right); \quad \frac{dT}{dt}, \text{ K/s} = \frac{SAR}{C_p} \quad (10)$$

Първата е дефиниция за SAR във W/kg, където σ е проводимостта на дадена тъкан в S/m, ρ е нейната плътност в kg/m³, а $|E_{local}|^2$ е квадратът на средноквадратичното локално електрическо поле в тъканта в (V/m)². От тази дефиниция е ясно, че величината SAR е количествена мярка за локалната погълната енергия W_{abs} в дадена тъкан in-vivo, както и мярка за нейното локално нагряване по следващите две формули горе, където T е локалната абсолютна температура в K, а C_p в е специфичният топлинен капацитет на разглежданата тъкан в J/kg.K. От



Фиг. 39. Определяне на SAR: а) Измерено проникване на GSM сигнал в глава; б) Постановка за измерване на SAR в човешки фантом; в) Симулация на разпределението на SAR_L и температура в модел на глава (visible-man model); г) Симулация на SAR_{WB} за цялото тяло пред антена на BTS с отчитане на отражението зад гърба на човека.

казаното става ясно, че величината SAR не може да се определя директно, а трябва да се изчислява или измерва по модели на човешки тъкани и органи. Това става чрез компютърни симулации (моделиране на органите – тяло, глава, очи и др. и симулация на разпределението на SAR с помощта на електромагнитни 3D симулатори) и чрез измерване на разпределението на SAR в биологично еквивалентни фантомни модели на човек или части от него. Измерва се или локалното електрично поле E_{local} с помощта на микроантени във вътрешността на фантома или локалното изменение на температурата ΔT с помощта на миниатюрни термични датчици. На Фиг. 39 са дадени компютърни и фантомни модели на човешка глава. Има два подхода към определяне на SAR: в цялото тяло на човек SAR_{WB} и в отделни негови органи, локална SAR_L (напр. в главата). Най-интересно от обществена гледна точка е да се установи как GSM сигнал прониква в човешката глава при разговор. Най-простият модел на човешка глава е структура с 4 различни тъкани (кожа, скули, кости, мозък). На базата на подобни и по-сложни модели могат да се извършват достоверни оценки на SAR_L (Фиг. 39 в) и SAR_{WB} (Фиг. 39 з). Типичната дълбочина на проникване и абсорбиране на сигнал е ~ 9 cm, но тази стойност зависи от много фактори (вж. и 5.4). Нарастването на температурата е най-силно близо до повърхнинния слой кожа и скули зад ухото. Експериментално измерване на SAR в човешкото тяло също е възможно (Фиг. 39 а, б). Много рядко се извършват директни измервания с живи хора. При подобни измервания могат да се определят главно повърхнинни ефекти или влияние на човешката глава върху диаграмата на антената. Много по-често днес се използват биологично еквивалентни фантоми (на глава, ръка или цяло тяло).

5.3 Хигиенни норми за нейонизиращото лъчение

Опасността от радиоактивност (йонизиращо лъчение) е известна на хората отдавна. За опасност от облъчване с нейонизиращо лъчение се говори едва след масовото въвеждане на мобилните телефони (след 1980 г.), макар че изследвания на биологично влияние се водят поне от 1930 г. Нещо повече, през годините на студената война са използвали облъчване със слаби сигнали като някакъв вид тайно оръжие. Например, от 1953 до 1976 г. американското посолство в Москва е облъчвано със слаб модулиран RF сигнал с установени десетки години по-късно специфични последствия за персонала: хромозомни дефекти, неврологични симптоми (депресии, раздразнителност, проблеми с концентрацията и др.), много близки до оплакванията днес на хора, живеещи до базови станции. Близостта до действащи радарни установки, tv кули, FM радиостанции и далекопроводи вече с право се счита за опасна. Днес, обаче, излъчващи антени за GSM базови станции има навсякъде и хората започнаха да се безпокоят именно от тях, а не толкова от другите излъчватели. Ето защо, хигиенни норми, регламентиращи процеса на облъчване (exposure) с RF сигнали, са абсолютно необходими.

Всяка държава определя свои *хигиенни норми за нейонизиращо лъчение* по различни критерии и *достоверно определени механизми на въздействие*, поради което се среща голямо разнообразие от стойности. Има хигиенни норми за плътност на потока на мощността S (респ. E , H) (както е в България), но и за SAR (напр. в САЩ, в Европейски съюз). Освен това има хигиенно-защитни норми за населението (safety standards), но и за персонал, който по принцип работи с подобно лъчение (в радио и tv-кули, радарни установки и др.). Отделно има и военновременни норми. Хигиенните норми в дадена страна се определят: 1) в зависимост от честотата; 2) за плътност на потока на мощността в W/m^2 (над 300 MHz), или поотделно за електрично (V/m) и за магнитно поле (A/m) (под 300 MHz), както и за SAR във W/kg; 3) поотделно за население и за персонал (в последния случай се определя и максимално време за облъчване).

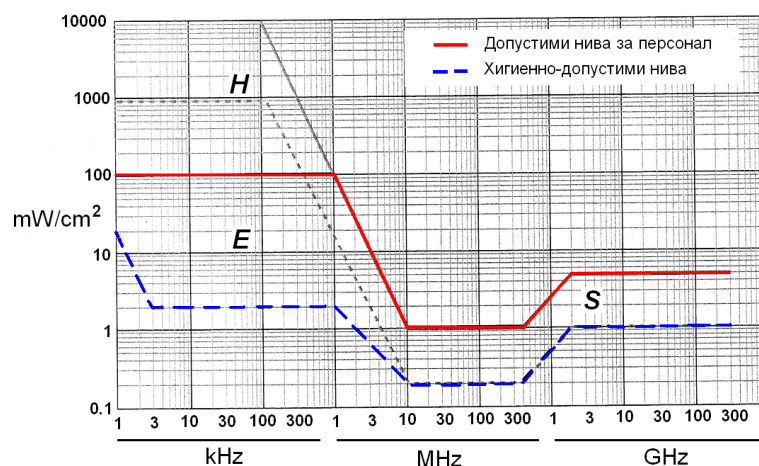
Приетите в света хигиенно-защитни норми за облъчване на хора с нейонизиращо лъчение (напр. тези в Западна Европа и САЩ) *се основават само на осигуреното предпазване на човека от топлинните ефекти* под действие с микровълни (прегриване на тялото с над $1^{\circ}C$). Например, при $S \sim 100$ mW/cm² (стойност, която се получава при силно слънчево греење) се наблюдават ясни симптоми на прегриване на тялото и повреждане на тъкани поради невъзможност за ефективен обмен на получаваната топлина. При $S \sim 10$ mW/cm² повечето HWC (водосъдържащи) тъкани и органи на човека се нагряват измеримо, но без да се повреждат. Степента на тези ефекти зависят от: размера, формата и ориентацията на обекта, времето за експозиция, топлопроводността на съседните тъкани, ефективността на топлообмена и кръвоснабдеността и пр. Така хигиенно-защитната норма от 1 mW/cm², приета в по-голямата част на света, не буди съмнения в начина си на поява – 10 пъти по ниска от предизвикващо видими изменения ниво на S . Измервания на осреднените стойности на плътността на потока на микровълновата мощност в околната среда на хората (далече от излъчватели) показват, че те са много под стойностите на приетите хигиенно-защитни норми. В Табл. 3, 4 по-долу са дадени стойностите на хигиенно-защитните дози за населението в България при облъчване с нейонизиращо лъчение, съгласно Наредба No. 9 от 1991 г. на МЗ и МОС (Държавен вестник, бр. 35 от май 1991 г.) и същите сравнени за няколко държави. Прави

Табл. 3. Хигиенно-защитните дози за населението в България съгласно Наредба No. 9 от 1991 г.

Работен честотен обхват на излъчвателя	Предельно допустимо ниво
30 – 300 kHz	25 V/m
0,3 – 3 MHz	15 V/m
3 – 30 MHz	10 V/m
30 – 300 MHz	3 V/m
0,3 – 30 GHz	10 μ W/cm ²

Табл. 4. Хигиенно-защитни норми за S в някои държави, сравнени с тези в България.

Държава	S [mW/cm ²]
България	0,01
САЩ	1
Русия	0,01
Европейски съюз	1
Япония	0,2
Китай	0,2
Австралия	0,2



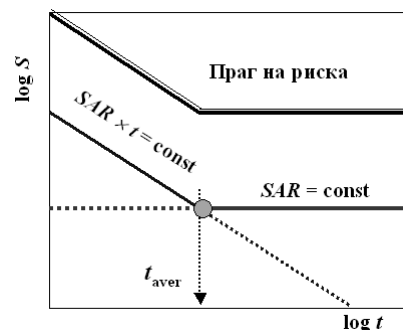
Фиг. 40. Хигиенно-защитни норми за плътността на потока на мощността S съгласно припоръките на ICNIRP

впечатление, че някои от стойностите се различават 100 пъти – например, нормата за S в България и в държави от Европейския съюз. Това се дължи на различното значение, което се предава на нетоплинните механизми на въздействие в някои Източно-европейски държави и Русия, както и в някои други държави като Австралия, Нова Зеландия, Китай, Япония (а освен това и някои градове: Залцбург в Австрия; Нов Южен Уелс в Австралия и др.). В САЩ, Европейски съюз и повечето от останалите държави хигиенните норми са определени само *на базата на топлинния механизъм*. Най-важните организации, които определят пределно допустими норми, са: USA FCC (Federal Communication Commission) (www.fcc.gov), IEEE C95 (www.ieee.org), Canada Safety Code 6 (www.hc-sc.gc.ca/rpb), ICNIRP Reference Levels 1998 (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) (www.icnirp.org) и др.

В много страни има честотно-зависими норми за S . На Фиг. 40 са дадени като пример нормите за S , препоръчани от ICNIRP. Хигиенно-защитните норми (за население) до 1 MHz са 2 mW/cm^2 , но падат до едва 0.2 mW/cm^2 за 10 MHz и се задържат на това ниво до 400 MHz. След това нормата отново расте до 1500 MHz до ниво 1 mW/cm^2 . Причината за подобен честотен ход е тази, че в честотните обхвати 60-250 MHz се наблюдават *резонансни максимуми* на SAR за цяло тяло на повечето хора – мъже, жени и деца. С това се обясняват и по-строгите изисквания в този обхват. Нивото 1 mW/cm^2 се запазва до 300 GHz. Нормата за персонал, в работната среда на който има нейонизиращо лъчение, е по-либерална, но с подобен ход с честотата ($100 \rightarrow 1 \rightarrow 5 \text{ mW/cm}^2$).

Табл. 5. Хигиенни норми за SAR за персонал и население в честотен обхват от 100 kHz до 60 GHz

Величина	Хигиенна норма		Нова обща норма до 3.5 GHz	Забележка:
	персонал	население		
SAR_{WB} (цяло тяло)	0.4	0.08	0.4	Осреднява се за масата на цялото тяло
SAR_L (глава, шия)	8.0 *	1.60 *	10.0 †	* Осреднява се за всеки 1 g маса на тъканта
SAR_L (очи)	1.60	0.2		Препоръчителна норма
SAR_L (крайници)	20.0 †	4.00 †	25 †	† Осреднява се за всеки 10 g маса на тъканта



Фиг. 41. Средно време на осредняване на SAR

Другите норми, за SAR (Табл. 5), са изключително важни за безжичните комуникации, при които има два типа облъчватели – от една страна, близко разположеният до главата мобилен телефон MS, а от друга страна, базовите станции BTS, които въздействат на живеещи или работещи в близост хора. В първият случай значение има локалната SAR_L (в главата, очите, по-слабо в шията, крайниците, за която се препоръчват различни стойности). При по-големи облъчватели (от BTS) по-информативна е SAR_{WB} за цялото тяло, за която има по-ниски хигиенни нива. В Табл. 5 са дадени данни от Health Canada's Safety Code 6, но те са подобни в много други страни – САЩ, ЕС и др. (за съжаление, в България норми за SAR не са въведени официално).

Това, че нормата SAR_L е по-голяма (по-либерална) от тази за SAR_{WB} (от 2.5 до 50 пъти) се обяснява с вече известният факт, че когато енергията се поглъща локално, останалите части на тялото (главно чрез кръвообращението) могат ефективно да я разсеят към други органи. Именно поради ефективността на локалното кръвообращение има и различни норми за SAR на различни части от тялото. Най-тежък е случаят на облъчване на очите, които нямат ефективно локално охлаждане. За определяне на SAR и сравняване с допустимите норми се използват два вида осредняване: по масата на дадена тъкан и по времето за облъчване. Осредняването при определяне на SAR за част от тялото (глава, шия) досега ставаше за всеки 1 g (САЩ, Канада) или на всеки 10 g (Европейски съюз). За други части на тялото (крайници) това става за всеки 10 g (или 100 g). SAR за цялото тяло се определя чрез осредняване по пълната маса на тялото. Важно е и времето за облъчване. На Фиг. 41 са

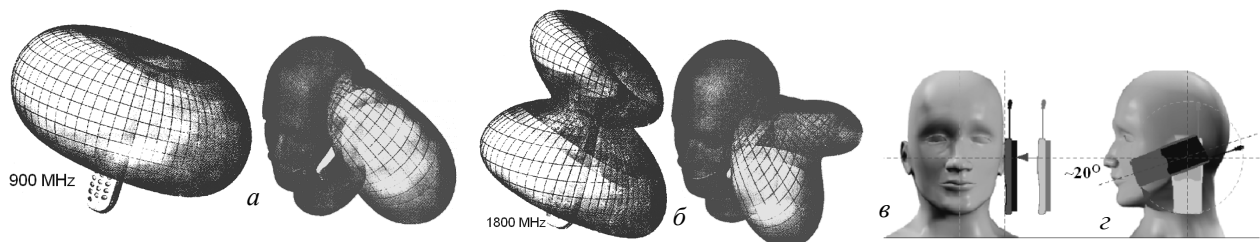
показани две прави в координати “log S–log t”: 1) $SAR = \text{const}$ и 2) $SAR \times t = \text{const}$ (t – времето). Определена температура на тъкан може да се достигне или с постоянна SAR за дълго време или с постоянна специфична енергия $SAR \times t$ за късо време. Пресечната точка на двете прави определя препоръчителното време t_{aver} за осредняване на SAR при сравнение с нормата. Обикновено то е ~ 6 s, докато за осредняване на S са необходими поне 6 min (съгласно SC6; по други стандарти осредняването на S може да се извършва и до 30 min). Неотдавна тези норми за SAR в обхвата 0.1-3.5 GHz бяха чувствително увеличени (вж. колонката в Табл. 5). Това стана по препоръка на ICES (International Committee on Electromagnetic Safety) към IEEE и изследователи от Motorola. Основният принцип на това увеличение е *изравняване на нормата за население и за персонал* (и приемане на по-либералната норма, дори и малко по-висока). Например, старата норма $SAR_L = 1.6$ W/kg за облъчване на глава се увеличи на 10 W/kg, а като се прибави изменението на начина на определяне на SAR чрез усредняване на 10 пъти по-големи маси, ефективното общо увеличение се оказва над 12 пъти! За мен остават не особено ясни причините за това увеличение 2-3 години преди да се появят недвусмислени резултати от изследвания за увеличаване на туморните образувания в главата под влиянието на мобилни телефони върху хора, които са говорили повече от 2-3 часа на ден за период от 10 години и нагоре (вж. 5.6), и затова няма да ги коментирам.

5.4 Опасни ли са мобилните телефони?

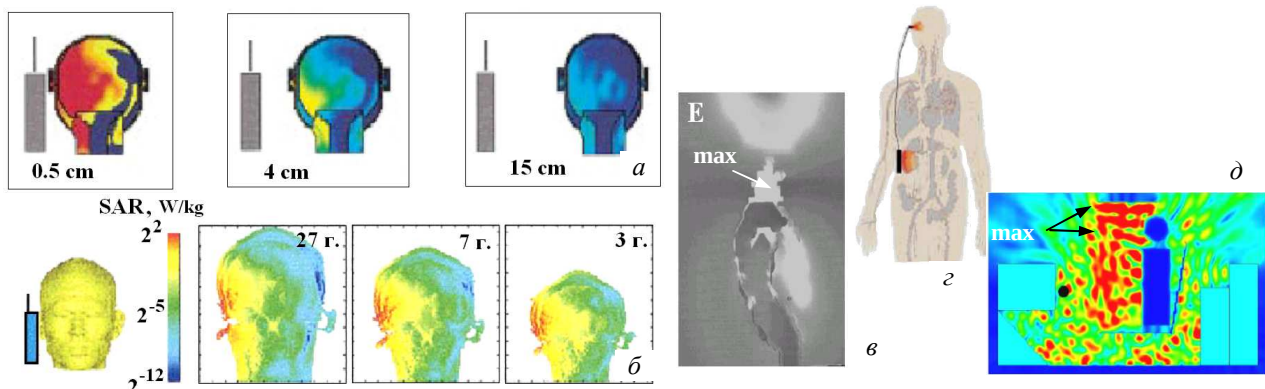
Отговорът на този въпрос е все още нееднозначен, но пък много важен, защото започна да се отнася до големи групи от хора (както вредата от пушенето за пушачите, проблемите с храненето за хора с наднормено тегло и пр.). При масовият GSM потребител има широк кръг от представи за действието на GSM телефона – от много вредно, предизвикващо рак, глаукома и др., до напълно безвредно и дори в известна степен полезно, например за подобряване на имунната система.

Работещ GSM телефон излъчва прекъснато (25 % от времето за разговор) модулиран цифров сигнал. Номиналната мощност е 1 W или средно ~ 125 mW, като се отчете ефекта на TDMA достъп. Антената му е слабонасочена (усилване до +2 dB или 1.6 пъти) – вж. Фиг. 42 а, б и зависи от абсорбиращия ефект на главата. Прието е здравният риск от използване на даден телефон да се оценява по локалната SAR_L в главата и нейното разпределение, предизвикано от антената на дадено разстояние (типично 2 cm). Поради близостта си до главата мобилният телефон може да предизвика забележими нива на SAR, свързани с топлинното действие на сигнала. Това зависи от мощността на излъчване на конкретния апарат в конкретните условия на средата, усилването и диаграмата на антената, ориентацията спрямо главата (Фиг. 42 в, г), продължителността на разговора и пр.

Най-сигурният метод за намаляване на SAR в главата (вкл. в мозъка) е увеличаване на разстоянието – Фиг. 43 а. Типично телефонът (по-точно антената му) се доближава до главата на разстояние 0.5-3 cm. При разстояние 2 cm от диполна антена главата получава с 25 % повече SAR, когато телефонът е във вертикална позиция (Фиг. 42 в), отколкото в наклонена (Фиг. 42 г) (в тези случаи мозъкът получава 16 % и 8 % от общата SAR). Пикова стойност на SAR се получава точно зад ухото, а максимална осреднена SAR – в кожата и скулите от страната на телефона. Важна е и достигнатата температура. Ако е спазена нормата за SAR_L в главата 1.6 W/kg, повишението на температурата в ухото от GSM сигнала е 0.2°C , а в мозъка – едва 0.1°C (ще отбележа, че подобна температура се постига след насищане при разговор около 6-8 min; през това време само от допира на бузата или ухото с телефона, тяхната температура може да нарасне с поне $1.5-2^\circ\text{C}$).



Фиг. 42. Диаграма на излъчване на антената на мобилна станция без и с влияние на главата при 900 (а) и 1800 MHz (б); Два типични начина на използване на телефона: в) вертикално; г) наклонено (до бузата под ъгъл до 20°)



Фиг. 43. Примери за облъчване с GSM телефон: а) в зависимост от разстоянието до главата (Utah model); б) за хора на различна възраст; в) разпределение на електричното поле около ухото; г) поле в “hands free”; д) поле в автомобила

При разстояния над 5 cm от ухото до телефона, SAR в главата пада чувствително. Използване на “hands free” наистина помага да се намали нивото на сигнал в главата, но при наличие на паразитни резонансни ефекти може да се наблюдава силен сигнал директно в ушния канал (където е слушалката – Фиг. 43 з). Влиянието на ръката има двойно значение: ако тя е близо до антената, SAR в главата слабо намалява, но се увеличава силно поглъщането на сигнал в нея самата и така расте излъчената мощност. Това пък води до по-бързо изтощаване на батериите след еднократно зареждане. В съвременните мобилни телефони винаги се търси подходящото място на антената в тялото на телефона, така че ръката да не поглъща (засенчва) излъчения сигнал при разговор или в режим “набиране; browsing”, а от друга страна самата антена да излъчва по-слабо към главата и мозъка. От изследванията става ясно, че ухото и кожата около него най-често страдат при ползване на GSM телефона: по-висока температура, леки изгаряния, изтръпване. Ухото има размери, кратни на дължината на вълната на GSM сигнала и при определени условия могат да се наблюдават резонансни ефекти. На Фиг. 43 в е показано разпределението на електричното поле E около ухото на 900 MHz; при определени разстояния интензитетът на E може да достигне до 2.5 V/cm. Влиянието на мастните тъкани в човешкия организъм при облъчване с GSM сигнал е особено. Те са със слабо водно съдържание (LWC тъкан) и големината на SAR в тях е значително по-малка, отколкото в съседни тъкани. Слой мастна тъкан на корема с дебелина “едва” 0.8 cm намалява големината на SAR в тялото с около 2.5 пъти в сравнение със случай без мастен слой, ако антената е на 1 cm разстояние от него. Извод: ако телефонът се държи на колан отстрани на корема, ефектът от облъчване е най-слаб.

Използването на мобилни телефони от деца е все по-масово явление днес. В същото време за тях няма специални хигиенни норми, както за възрастните хора. Както вече обсъждахме, резонансните ефекти, присъщи за всички хора, при децата се проявяват на по-високи честоти. Оказва се, че и на 900 MHz се наблюдава по-ефективно облъчване на главата на деца в сравнение с възрастни и SAR в цялата глава, както и отделно само в мозъка расте (от 20 до 30% за деца от 10 до 5 г.). Освен това, сигналът прониква по-надълбоко в детската глава – вж. сравнението на Фиг. 43 в. По тези причини вече в няколко държави, първите от които Англия и Австралия, на деца под 16 години е забранено да използват мобилен телефон, или да го използват ограничено.

Почти във всички страни в света ползването на мобилен телефон в кола не се препоръчва. Може да се ползва, но без да се държи в ръце (чрез “hands free”). В някои страни има дори пълна забрана за ползване вътре в кола. Основна причина са затруднените реакции на водача при разговор с мобилен телефон (проблемът е доста по-тежък от този при пасивното пушене и шофиране едновременно). Има и чисто електродинамична причина. Симулациите и измерванията на излъчването на GSM сигнал вътре в колата, където частично се създава стояща вълна (Фиг. 43 д), показват, че загубите растат около 4 пъти (~6 dB). Причините са главно две: наличие на тела с големи омични загуби (пасажерите) и “изтичане” на енергия през стъклата и отвори на покрива. Това означава, че GSM телефонът трябва да работи с по-силен сигнал, а това увеличава SAR в главата.

От казаното дотук може да се заключи, че опасност от вредно действие на GSM телефони крие не толкова в регулярният топлинен механизъм, колкото евентуалните *нетоплинни ефекти*. Това са ефекти, предизвикани от слаби дози на облъчване (под допустимите), но при често използване на GSM телефона. Токова заключение се все по-ясно се формулира от учени, лекари и др., но винаги се отрича от мобилните оператори. Какви симптоми се свързват с въздействието на GSM телефона? (в Интернет се срещат в изобилие WEB източници, описващи подобни симптоми): хронично главоболие; замаяност; чувство за бучене в ушите; загаряване и натиск върху слепоочията; леки изгаряния на кожата около ушите; болка в очите; кръвоизливи; изкривяване на възприемания зрителен образ; проблеми с кръвното налягане; хронична физическа и умствена умора; загуба на памет; забавени реакции; проблеми с концентрацията; мозъчни тумори от страната на използване на телефона; разрушаване на ДНК при микроорганизми и животни; промяна на размера, формата и растежа на клетките в организма; промяна на потока на Ca^{++} -йони в организма и намаляване на общата имунна защитеност (в мозъка горното води до промяна на EEG-ритъма, забавени реакции и влияние върху REM-съня, свързан с функционирането на паметта, възприятията, обучението и др.). Подобни оплаквания имат и живущи в близост до BTS.

Основни нетоплинни механизми на въздействие на нейонизиращо лъчение с ниска доза (S или SAR) се свързват с доказано по-ефективното въздействие на *цифрови модулирани сигнали* (каквито са GSM сигналите) в сравнение с чисто хармонични микровълнови сигнали, както и на *сигнали с много ниски честоти* (ELF). Да си представим следната ситуация. Немодулираният нискочестотен сигнал, особено когато е слаб, няма пряк ефект върху човешките органи, защото няма ефективен директен механизъм за подобно въздействие “на място” (вътре в него). В същото време в човешкият организъм се излъчват и разпространяват (например в невронните мрежи) слаби нискочестотни сигнали, които са пряко свързани с функционирането му. Сега нека такъв сигнал “се качи” върху носещ GSM сигнал (цифров модулиран сигнал). Така “качен” върху носещия с честота ~900 MHz, той вече може ефективно да “проникне” (например навътре в главата) и да се “отдели” (демодулира) там. Така носещият “доставя” нискочестотния сигнал вътре в човешкия организъм, нещо, което той “сам” не може да направи. Ясно е, че подобен сигнал ще се възприема от човешкия организъм като негов вътрешен сигнал и взаимодействието ще е ефективно по принцип. Ще разгледам следния пример. Потокът йони през стените на клетъчните мембрани, особено този на Ca^{++} , е много важен биохимичен механизъм на клетъчно ниво. Йоните използват специфични канали, контролирани с напрежение, за да пресичат стените-мембрани, дебели ~10 nm, по посока на градиента на концентрацията. Тези канали, нормално затворени, се активират с напрежение (напр. -90 mV в покой до +45 mV). С компютърни симулации и с измервания е показано, че модулираните GSM и DECT сигнали увеличават вероятността за “отваряне” на каналите от Na^{+} и K^{+} йони с 30 %, а за каналите от Ca^{++} йони – до 60 %, т. е. наблюдава се изключително силно въздействие на цифровите модулирани сигнали.

5.5 Опасни ли са базовите станции?

Базовите станции на GSM мрежата излъчват непрекъснато в обхватите 800-900 MHz и 1859-1990 MHz. Мощността на излъчване зависи от размера на клетките, които те покриват, броя канали (типично 15-20) на сектор от 120° и др. характеристики. По-старите базови станции и тези извън града, монтирани обикновено на кули с височина 15-70 m, са предимно ненаасочени (omni) антени с височина до 3-4.5 m. Такива антени почти не се срещат в градски условия. Тук се използват главно “секторните” антени (Фиг. 44 а). Те са антенни решетки от няколко полувълнови антенни елемента (диполи). Типично правоъгълните панели са високи 30-130 cm и широки до 25 cm и имат коефициент на усилване 10-13 dB. Панелът има ширина на диаграмата $\sim 120^\circ$ на ниво -10 dB от максималното в хоризонталната равнина, но едва $\sim 15^\circ$ на ниво -3 dB във вертикалната равнина (Фиг. 44 б). Три такива панела са достатъчни, за да покрият с приемливо по ниво сигнал пълните 360° на клетка в града (Фиг. 44 в). Обикновено са аранжирани по три панела в три групи. Единият е само за излъчване (на т. нар. Веасон честота), а другите два са за приемане на сигнали от мобилните станции.



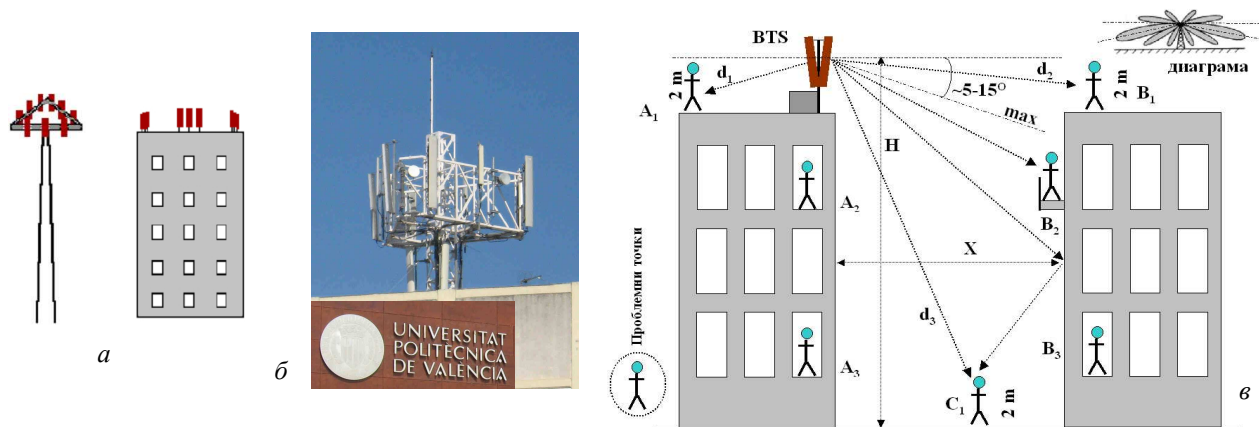
Фиг. 44. Антени за базови станции: а) единичен панел и тройка панели с наклон $5-15^\circ$; б) хоризонтална и вертикална диаграма на насоченост на отделен панел; в) хоризонтални диаграми на тройка антенни сектори

Стана ясно, че антените на базовите станции на GSM мрежата се монтират по два основни начина – на специални кули и върху покриви на високи сгради (Фиг. 45 а, б). Здравният риск от всяка конкретна BTS може да се оцени по измерената или изчислена на дадено разстояние d плътност на потока на мощността S или по SAR_{WB} за човек в антенното поле, която пък може да се определи чрез електромагнитни симулации.

Хората най-често ме питат може ли да се измери нивото на сигнала около BTS? Разбира се, че може. За да се получат неоспорими данни, обаче, е необходима калибрирана измерителна антена с известен антенен фактор AF в GSM обхвата и чувствителен измерителен прибор – ватметър или, най-добре, спектроанализатор. Тогава измерената стойност на разстояние d е $S(d)$, $mW/cm^2 = AF \times A(d)$, mW , където A е измереното с прибора ниво на мощността. Ако е използван ватметър (осредняващ по честота), това е търсената величина $S(d)$ (3 отделни измервания за 3 взаимно перпендикулярни направления на оста на измерителната антена). Когато се ползва спектроанализатор, трябва да се сумират още и приносите по всички честоти, излъчвани от дадената BTS. Ако сте чели предишните две части, няма да се чудите, защо величина $S(d)$ зависи от натовареността на трафика в конкретната клетка в конкретния момент. Величина $S(d)$ може да се изчисли и по прости формули.

$$S_{WC}(d), mW/cm^2 = \frac{0.0334 \times 1.64 P_{net} G F^2}{d^2} \quad (11a); \text{ или } S_{CM}(d), mW/cm^2 = 0.0334 \left(\frac{360^\circ}{\theta_{-3dB}} \right) \frac{1.64 P_{net} G F^2}{dh_{BTS}}, \quad (11b)$$

Тук са дадени два случая. Величината S_{WC} , определена по (11a), се отнася за най-тежкия случай с коефициент на запас 1.6^2 , където P_{net} е истинската входна мощност към предавателя във W, G – усилване на антената в пъти (величината $ERP = 1.64 \times P_{net} G$ е означение за еквивалентно излъчена мощност на диполна антена), F^2 – числен коефициент на полето от радиационната му диаграма ($F = 1$ по посока на главния лъч), d в m – разстояние до антената. За да се отчете височината h_{BTS} на монтираната над площадката антена на BTS и дали тя е секторна, е



Фиг. 45. а) Антени за базови станции, монтирани върху кула или висока сграда; б) антена на учебна BTS в Политехническият университет във Валенсия, Испания, която снимах, пишейки тези редове; тук студентите могат да правят измервания; в) проблемни точки в антенното поле на GSM BTS, монтирана върху многоетажна сграда

предложен т. нар. “цилиндричен” модел (1996, Richard Tell Associates, Inc.) за определяне на S_{CM} по формула (11б), където θ_{-3dB} е азимутална ширина на главния лъч на ниво -3dB. Пример, за секторна 120° антена $S_{CM}(d)$ расте 3 пъти в сравнение с обикновена, ненасочена (omni) антена. Да направим някои оценки. Типична базова станция в извънградски условия има $ERP \sim 100$ W/канал еквивалентно излъчена мощност, което отговаря на $P_{net} \sim 5-10$ W актуално излъчена мощност. В градска среда много по-типични са малките базови станции с $ERP \sim 10$ W/канал или $P_{net} \sim 0.5-1$ W. Всъщност, FCC допуска максимална стойност на $ERP < 500$ W/канал, но това практически не се случва в реални условия. Нека приемем, че $ERP = 1000$ W за всички канали в дадена типична градска BTS, се оказва, че в най-тежкия случай по формула (11а) $S_{WC} \sim 0.085$ mW/cm² на разстояние $d = 20$ m; $S_{WC} \sim 0.335$ mW/cm² за $d = 10$ m; $S_{WC} \sim 1.335$ mW/cm² за $d = 5$ m (далечната зона за подобна антена на BTS е ~ 5 m). Нека накрая да оценим SAR_{WB} в цялото тяло на човек, например типичен мъж (average man) според моделите на Richard Tell Associates, Inc. Чрез използване на SAR калкулатор се получават следните стойности: $SAR_{WB} = 3.4$ mW/kg при $d = 20$ m; 13.4 mW/kg за $d = 10$ m и 53.3 mW/kg за $d = 5$ m. Всъщност старата хигиенна норма от 80 mW/kg се получава чак при $S_{WC} = 2$ mW/cm², т. е. вътре в близката зона на антената, на няколко стъпки от нея. За деца при тази стойност на S_{WC} се получава по-големи стойности на SAR (напр. ~ 115 mW/kg за 5-годишно дете). Това са данни за най-тежкия случай. Всъщност, реалните измервания на достъпни места около базови станции показват, че рядко се наблюдават нива на S над 1 μ W/cm², което е доста под нормата.

Все пак има ли проблеми? На Фиг. 45 в са представени схематично две многоетажни сгради, върху едната от които е монтирана GSM BTS. С A_1 и B_1 са означени няколко проблемни точки в антенното поле, които ще коментирам. Най-силно ниво може да се очаква в т. A_1 (на покрива близо до антената), но човек рядко ходи там, където живеят гълъбите (впрочем тук не съм прав; ако поровите в Интернет, ще се убедите, че гълъби, оси и пчели не се срещат близо до базови станции). В т. A_2 (апартамент точно под антената) нивото не е голямо, противно на очакванията, защото тук сигнал има само благодарение на страничните листове в диаграмата. Нивото в т. A_3 обикновено е по-ниско от това в съответната т. B_3 в отсрещния блок, ако разстоянието между тях е под $20-25$ m. Изобщо измерените нива на сигнала в близко-разположен съседен блок, особено по посока на главния лъч, са по-високи, отколкото на съответните места в блока с антената. Всъщност точно това най-често се пренебрегва. Доказано е (с измервания и 3D симулации), че най-тежък е случаят в т. B_2 (човек от съседния блок, намиращ се на терасата срещу главния лъч на сектора на около $10-20$ m, зад който има отразяваща сигнала бетонна стена), където дори може да се наблюдава надхвърляне на хигиенната норма за SAR_{WB} .

5.6 Микровълнов синдром. Принцип на предпазливостта

Добре, досега разбрахме едно нещо: хигиенните норми за ЕМ облъчване *наистина осигуряват защита* срещу топлинните ефекти, които определено могат да създадат риск за здравето, ако надхвърлят нормата. Другите наблюдавани биологични нетоплинни ефекти (на молекулярно, на клетъчно ниво или на ниво на нервната система) могат да причинят, но могат и да не причинят здравни рискове. Ето защо, това не дава ясен повод на съответните световни организации да отчитат нетоплинните ефекти при регулацията на хигиенните норми за нейонизиращо лъчение. В същото време сред населението предимно в Европа и в някои други части на света (Австралия, Нова Зеландия, Канада и във все повече страни) *има нарастващо безпокойство* относно възможни рискови ефекти за здравето, причинени от използване на GSM апарати и, още повече, от облъчване от GSM базови станции. Това е вече известният “микровълнов синдром”. Учудващо е, че в същото време облъчването от мощни TV и FM предаватели в т. нар. резонансни обхвати не предизвиква подобно негативно отношение! (Източник: A. Vorst, “Cellular Telephones: Hazards or Not?” IEEE Trans. on MTT-S Digest, Dec. 2000)

Какви са болезните на “микровълновия синдром”? Доказано е, че облъчване с нейонизиращо лъчение с ниво под хигиенните норми не предизвиква у хората известни на медицината заболявания. Има, обаче, научни изследвания, които сочат, че *облъчване дори под хигиенните норми*, може да предизвикат различни биологични ефекти на молекулно и клетъчно ниво, както и ефекти в поведението, психиката, мисловната дейност и паметта. По принцип хората не са хомогенни в генетично отношение и някои от тях (или групи от тях) могат да имат повишена чувствителност към елементи от околната среда и, в частност, към облъчване с микровълни. Това са прояви на *електромагнитна “хиперчувствителност”* и хигиенните норми не могат да осигурят сигурна защита за такива хора. Освен това, *модулираните сигнали*, особено импулсните и *свръхнискофреkwентните*, въздействат по-ефективно върху различни процеси в човешкия организъм и този на животните. Тук в недалечно бъдеще се очакват много повече, по-сигурни и по-конкретни резултати от нови научни изследвания. Съвременните хора все повече предпочитат мобилните връзки, но никой “не желае” да е в близост до базова станция. Независимо от засиленото напоследък обществено безпокойство за тотален “електросмог”, облъчването от базовите станции не изглежда да е така опасно, освен ако човек не е в непосредствена близост (под $20-30$ m) или страда от свръхчувствителност към електромагнитни сигнали. Тук има и голяма доза психологичен ефект; ако човек не вижда антената на базовата станция толкова отблизо или ако тя е скрита под радиопрозрачно камуфлажно покривало, безпокойството е по-слабо. В известен смисъл, рискът от облъчване от мобилен телефон е по-голям. Причина са малките разстояния на излъчващата антена до главата и по-продължителните и по-чести разговори.

В такива случаи препоръчвам да се прилага “*принципът на предпазливостта*”, особено в сегашните все още начални етапи на използване на клетъчни телефони и др. безжични устройства, когато се знае по-малко за влиянието им, отколкото би трябвало. Има две главни групи ограничения, спазването на които е проява на предпазливост: 1) Базисни ограничения за начините за използване на безжични устройства (телефони, bluetooth и др.) и 2) Препоръчителни дози на облъчване, $10-15$ % от хигиенните норми, които да не се превишават.

Какво да спазваме, за да сме предпазливи?

При мобилните телефони:

- С използването на мобилни телефони не трябва да се прекалява. 1.5-2 часа разговори на ден са вече много и влизате в рисковата група. Не трябва да се говори продължително (типично 2-3 min, максимум 6 min и после поне 30 min без разговор, за да не се акумулират ефекти). В никакъв случай не говорете повече от 9-10 min наведнъж, дори и да имате останали много безплатни минути. Ако човек се намира в офис или в къщи, трябва да предпочита използването на обикновен, фиксиран телефон, скайп или VoIP телефон.
- Трябва да се избягват разговори при "слаб сигнал" от BTS (в мазе, тунел, асансьор, метро, кола, автобус, в планината и пр.), защото тогава клетъчният телефон обикновено работи на максимален сигнал.
- Когато е възможно, да се използват предпазни средства: при разговор телефона да се държи по-далече от главата, да се използват жични "hands-free" устройства или предпазни "стикери", които "работят".
- Децата трябва да избягват използване на мобилни телефони или да ги използват много рядко. Това е важно!
- Избирайте си безжичен телефон по указаната стойност на SAR, която той би предизвикал при стандартни условия на използване. Ако такава стойност не е указана, информирайте се от Интернет.
- Пазете телефона далеч от очите си, тестисите, сърцето и особено хипоталамуса – жлеза в задната част на мозъка, отговорна за терморегулацията (само 0.03°C нарастване на температурата в нея предизвиква разстройване на механизма на охлаждане на организма). Не оставяйте включен телефон в детската количка при бебето. Не забравяйте, че той излъчва, дори когато не разговаряте. Масните тъкани ви предпазват донякъде, дръжте телефона на колан на корема.

При базовите станции:

Ако за използване на мобилен телефон човек решава сам, за базовата станция не е така. Не се безпокойте, ако антените не са на по-малко от 30 m от вас или вашето жилище, или ако не са в пряка видимост (зад стени, сгради и пр.). Все пак се информирайте: каква е мощността на излъчване от станцията, типа на клетката (по-голяма или по-малка), дали антената е секторна, какво е усиляването ѝ и в кои посоки са насочени главните лъчи. Ако се съмнявате в нещо, консултирайте се със специалист.

Много често ни уверяват, че няма научни доказателства за вредното влияние на мобилните телефони и особено, че водят до увеличаване на някои ракови заболявания. Всъщност, това не е вярно. Биоелектромагнитните изследвания на влиянието на електромагнитното излъчване върху хора и живи организми са много разпространени по целия и *добре финансирани*. Ежегодно излизат много нови резултати; не малка част от тях се появяват в Интернет. Много подробна, достоверна и актуална информация може да се получи от "колонката" на проф. James C. Lin (lin@ece.uic.edu) от Университета в Илинойс, Чикаго, "Telecommunications Health & Safety", която се появява 6 пъти годишно в списанието IEEE Antennas and Propagation Magazine. Аз я следя редовно. В т. 48, кн. 5 от 2006 г. той обобщава този вид изследвания EMF-NET (<http://www.jrc.ec.europa.eu/emf-net>). Само за периода 2004-2008 тези проекти са 240, разпределени в 13 страни (Дания, Финландия, Франция, Германия, Великобритания, Италия и др.). Общото финансиране е над €45 млн. (средно по €195 000 на проект). Проектите са от два типа: изследователски или проекти с научна мисия (напр. може ли излъчването от мобилен телефон да предизвика мозъчни тумори?). Подобен е и международния проект INTERPHONE, координиран от International Agency for Research on Cancer (IARC) в Лион, Франция (част от WHO, Международната здравна организация). IARC е класифицирала 5 групи за канцерогенно въздействие на нейонизиращото лъчение: **1** (канцерогенно), **2A** (вероятно канцерогенно), **2B** (възможно канцерогенно), **3** (не може да се определи като канцерогенно), **4** (не е канцерогенно). Засега нейонизиращото лъчение се свързва с група **2B**, но от началото на тази година има вероятност да се класифицира в група **2A**. Сред учените има ясен консенсус, че RF сигнали не могат да влияят директно върху човешкия геном, както е при йонизиращо лъчение. Всъщност, предполага се, че може да има индиректно влияние или съпровокиране на други канцерогенни канали. Първите резултати по проекта INTERPHONE за връзка между използването на GSM апарати и поява на мозъчен тумор вече излизат (от началото на 2005). Изследвани са живи хора (чрез медицински прегледи и интервюта), които са ползвали мобилни телефони над 10 години. Първите резултатите от изследванията в две държави не са обнадеждаващи. В Швеция са изследвани хора на възраст 18-69 г. и се наблюдава увеличаване на риска от мозъчен тумор (от страната на използване на телефона) с 1.39 пъти (95% доверителен интервал CI 1.01-1.92). В Германия (30-69 г.) увеличен риск за мозъчен тумор не е открит, т.е. ~0.98 пъти (95% CI 0.74-1.29). Тук, обаче, се докладва за силно увеличаване на риска от глуома на очите с 2.20 пъти (95% CI 0.94-5.11). При интензивно ползване на GSM телефон 2-3 часа дневно (след първите 2000 ч.) се наблюдава още по-силен риск, отколкото при нормално ползване над 10 г. В началото на 2009 г. излязоха и резултати за повишен риск от други видове рак: акустична неурома (рак на слуховия нерв), рак на ларинкса, на слюнчените жлези и др. Най-много ме шокира едно интервю на водещ мозъчен неврохирург и Нобелов лауреат от Австралия д-р Vini G. Khurana (The Independent, March 30, 2008), в което той твърди, че мозъчните тумори вследствие на усилено използване на мобилни телефони са се увеличили извънредно много и че през следващите 10 години те ще вземат повече жертви, отколкото взема тютюнопушенето (близо 5 млн. годишно). Намерих и други работи на д-р Khurana (например в www.brain-surgery.us). Няма да ги преразказвам, но от тях има какво да се научи от медицинска гледна точка.

5.7 Вместо край

Джон Нейш не използва GSM телефон. Не е единственият в света. Странното е, че той е известен журналист, сътрудник на Дейли Трелеграф, Дейли Мирър, Таймс и БиБиСи. В своя бестселър "Достатъчно"

(“Enough”) споделя следното. “Имах GSM телефон, но той се развали и не си купих нов. Отначало хората си мислеха, че съм доста ексцентричен. След това решиха, че съм тотален неудачник. Година-две по-късно вече започнаха да се ядосват. “Как се осмеляваш! Откъде накъде няма да имаш GSM?” Напоследък, обаче, са по-скоро заинтересувани – “Всъщност как постигаш това?”. Защото в момента огромна част от хората искат да се “изключат” поне за известно време, вместо да са на разположение по схемата 24/7. Мобилният телефон е като в “Старецът и морето” на Хемингуей. Излизаш да ловиш херинга, а хващаш огромна риба на въдицата. В началото изглежда страхотна награда, но после тя завлича лодката навътре в морето. Ти все пак се вкопчаваш за улова, докато накрая установиш, че рибата не става за нищо.” (Сп. “За хората”, 16 август 2008).

Литература

- [1] П. Данков, "Увод в безжичните комуникации", Херон прес, 2007 г.
- [2] “Understanding telecommunications 2” – Ericsson & Telia, (online източник: <http://www.studentlitteratur.se/>)
- [3] G. Heine, "GSM networks: protocols, terminology and implementation", Artech House Inc., 1999
- [4] R. Schmitt, "Electromagnetics Explained. A handbook for wireless/RF, EMC and high-speed electronics", Newnes 2002
- [5] H. Holma, A. Toskala, "WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications", J. Wiley, 2004
- [6] Z. Abate, "WiMAX RF Systems Engineering", Artech House Inc., 2008
- [7] R. Bekker, J. Smits, "Mobile Telecommunications: standards, regulation and applications", Artech House Inc., 1999
- [8] M. D. Yacoub, "Foundation of Mobile Radio Engineering", CRC Press, London, 1993
- [9] П. И. Данков, "Основни приложения на микровълните", сп. "Физика" бр. 1, 1998, стр.7-15

Благодаря на Фонд “Научни изследвания” на Софийски университет за поддръжката.