

Авторски колектив

Под редакцията на
Проф. Мишел С. Израел, дм

РЪКОВОДСТВО ПО ЗАЩИТА ОТ НЕЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЯ

НЕЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЯ,
ЧОВЕКЪТ И ОКОЛНАТА СРЕДА



БГО7





Издава:

Национален център
по обществено здраве
и анализи, 2017 г.

На корицата

Северно сияние, заснето
във Феърбанкс, Аляска

https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2014/09/12/beautiful-aurora-paint-northern-skies-but-real-show-may-be-tonight-as-solar-storm-peaks-photos/?utm_term=.c4b8d9af1a8c

снимка: Joseph N. Hall

Програма BG07: «Инициативи за обществено здраве»,
с финансовата подкрепа на Норвежкия финансов механизъм 2009-2014 г.
и механизъм на Европейското икономическо пространство, 2009-2014 г.

РЪКОВОДСТВО

ПО ЗАЩИТА ОТ НЕЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЕ

НЕЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЕ,
ЧОВЕКЪТ И ОКОЛНАТА СРЕДА

Авторски колектив

Под редакцията на Проф. Мишел С. Израел, дм



**РЪКОВОДСТВО
ПО ЗАЩИТА ОТ НЕЙОНИЗИРАЩИТЕ ЛЪЧЕНИЯ**

Нейонизиращите лъчения,
човекът и околната среда

Под редакцията на:
проф. Мишел Израел, дм

АВТОРСКИ КОЛЕКТИВ:

- © **Проф. Мишел Израел, дм**
автор на Глави – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
10, 11, 12, 13 и Раздели – 1, 2, 3, 4, 7
- © **Доц. Михаела Иванова, дм**
автор на Глави – 5, 10, 11 и Раздели – 6, 7
- © **Цветелина Шаламанова, дм**
автор на Раздели – 3, 5
- © **Виктория Зарябова** – Глави – 12, 14

Издава:
Национален център по общественно здраве
и анализи, 2017 г.

ISBN 978-954-8404-35-8

За контакти:
Проф. Мишел Израел, дм
тел.: (+359 2) 8056 353
e-mail: michelisrael@abv.bg

АНОТАЦИЯ

Ръководството по защита от нейонизиращи лъчения съдържа съвременна информация, резултати, разсъждения и мисли, базирани на дългогодишните проучвания на автора и създадената от него лаборатория „Физически фактори“, свързани с целия спектър на нейонизиращите лъчения, въздействието им върху човека, методите за оценка на експозицията и риска, и методите за намаляване на това въздействие, както и анализ на политиката за защита на здравето.

Ръководството е разработено по проект „Подобряване на контрола и информационните системи за превенция на риска в здравеопазването“ по Програма BG 07 „Инициативи за общественно здраве“, с финансовата подкрепа на Норвежкия финансов механизъм (НФМ) 2009-2014 г. и финансовия механизъм на Европейското икономическо сътрудничество (ФМ на ЕИП) 2009-2014 г..

Настоящата монография дискутира най-съвременните тенденции в областта на биологичните и здравните ефекти от въздействието на нейонизиращите лъчения в работната и в околната среда, в нормирането, в методите за измерване и оценка на експозицията, както подходите, прилагани в света, по отношение на превенцията на риска. Едновременно с това, Ръководството стъпва на стабилна основа от публикациите през XX-ти век, които разработват методологията на измерването, както и принципите на профилактика.

Сериозните противоречия в литературата тук са обсъдени подробно и част от тях могат да намерят отговори, особено в областта на терминологията, на методите за измерване и неточностите в науката, на критериите за нормиране на

нейонизиращите лъчения. Обсъждат се основно различните школи, особено „старата“ традиционна руска школа в нормирането на остро и хронично въздействие, в сравнение с „новата“ западноевропейска и американска школа на доказаните ефекти от краткотрайно въздействие. Правят се сравнения както на концепциите за „признаване“ на вредния ефект, така и на конкретните хигиенни норми и стандарти за защита на населението и работещите.

Поотделно и заедно се разглеждат различни аспекти на защитата на човека от въздействие от целия спектър на нейонизиращите лъчения – от статичните полета (електрическо и магнитно поле), до оптичните полихроматични и лазерни лъчения.

Прави се анализ на методите за оценка на риска при различни източници, честотните обхвати и конкретните „облъчвания“ на човека в работната среда, в населените места и в бита от тези източници.

Измерванията и оценката на експозицията на нейонизиращите лъчения са дискутирани на основата на физиката, науката за измерванията. Обсъдени са подробно някои сериозни неточности при измерванията (систематични и случайни), които е невъзможно да бъдат оценени от лица с недостатъчна компетентност и практика в подобни измервания.

Особено внимание е отделено на политиката на Световната здравна организация и на Европейския съюз, както и на последващите задачи, предстоящи пред националното ни законодателство, в областта на контрола, оценката на експозицията и риска, колаборацията със страните от Балканите, както и с другите страни-членки на Европейския съюз. Обсъждат се политиките на превенция - принципите ALARA („Възможна най-голяма защита, достигната на основата на разумно достижимото“), Prudent avoidance („Благоразумно избягване“), Precautionary principle („Принцип на превантивност/предупреждение“).

Книгата е продължение на подобни издания с участието на автора у нас, но за пръв път обхваща всички аспекти на проблема за защитата на човека от въздействието на нейонизиращите лъчения. Тя може да бъде както основа за подготовка в университета по различни основни и специализирани курсове, така е и част от науката „медицинска физика“ в най-съвременния ѝ вид. Същата може да е и „настолна книга“ за обучение на специалистите по измерване, оценка на експозицията и риска, защитата от нейонизиращите лъчения. В някои свои части монографията може да бъде достатъчно ясно четиво и за гражданите, които търсят отговори на многото въпроси, свързани с облъчването от различни техногенни източници на нейонизиращи лъчения.

Трудът съдържа идеи, разработки, експерименти и проучвания на автора; някои от тях са реализирани от дипломни работи на студенти, дисертационни разработки на млади учени под негово ръководство. Други части са неговия участия в международни колективи за разработка на гранични стойности, както и публикувани изследвания у нас и в чуждестранни списания, изнасяни на международни научни форуми.

Монографията е структурирана в две основни части:

- глави, съдържащи основните термини и определения, философията на науката при оценка на риска от въздействието на нейонизиращите лъчения, както и разсъждения по самия риск и методите за оценка;
- раздели, обхващащи конкретното приложение на описаната философия при оценката на въздействието на различните нейонизиращи лъчения в работната среда и в населените места.

Част от главите/разделите са разработени от специалисти от отдел „Физически фактори“ към НЦОЗА, както е описано на корицата, след което са редактирани от автора на Ръководството.

**СПИСЪК
НА СЪКРАЩЕНИЯТА
В ТЕКСТА**

AEL – граница за достъпната емисия
ALARA – толкова ниско, колкото е възможно постижимо
ВН, СН – високо напрежение (над 100 kV), средно напрежение (под 20 kV)
ГСЕ – гранични стойности на експозиция
ЕКС – Експертен консултативен комитет по защита от НЙЛ към МЗ
ЕМП, ЕМВ, ЕМЛ – електромагнитни полета, вълни, лъчения
ЕМС – електромагнитна съвместимост
ЕП – електрическо поле
ЕСП – електростатично поле
ЗРУ – закрито разпределително устройство
FM – излъчване с честотна модулация
1G, 2G, 3G, 4G, GSM, UMTS, CDMA, WiMAX, LTE, WiFi и др. –
технологии на мобилна комуникация от различно поколение
ИЧ (IR)– инфрачервен
IEI – идиопатичен синдром на интолерантност към околната среда
МЗ – Министерство на здравеопазването
МДС (TLV) – максимално допустими стойности
MED – минимална еритемна доза
МП – магнитно поле
МРЕ – максимално допустима експозиция
НЙЛ – нейонизиращи лъчения
НЧ – ниски честоти
НЦОЗА – Национален център по обществено здраве и анализи
ОО – основни ограничения
ОРУ – открито разпределително устройство
ПДН – пределно допустими нива
ПМ – плътност на мощност (плътност на енергийния поток)
ПМП – постоянно магнитно поле
РЗИ – Регионална здравна инспекция
РС – референтни стойности
РЧ – радиочестоти
rms – средна квадратична стойност
SA (CA) – специфична погълната енергия
SAR (СПМ) – специфична погълната мощност
SED – стандартна еритемна доза
СПД – стойности за предприемане на действие
СВЧ – свръхвисоки честоти
СНЧ – свръхниски честоти
TWA – средно претеглена по време
УВ (UV)– ултравиолетов

СЪДЪРЖАНИЕ

7/	Глава 1.	Въведение. Класически и квантови представи. Неточности и противоречия в науката
18/	Глава 2.	Въведение в терминологията, свързана с оценката на риска от въздействието на нейонизиращите лъчения
26/	Глава 3.	Физиката и електродинамиката. Електромагнитните взаимодействия – основа на взаимодействията в света
32/	Глава 4.	Нейонизиращи лъчения – класификация. Приложение. Хигиенна значимост на нейонизиращите лъчения
36/	Глава 5.	Излъчване и разпространение на електромагнитните вълни. Елементарен електрически vibrator. Магнитна рамка. Близка и далечна зона. Основи на оптиката и лазерната техника
47/	Глава 6.	Приемане на електромагнитни вълни. Видове приемни антени. Принципи на обратимост. Характеристики на излъчващите и на приемните антени.
53/	Глава 7.	Специфика на взаимодействията на нейонизиращите лъчения с биологичните организми. Разпространение, „универсалност“, комплексност на въздействието като „присъщи“ на биосферата фактори на средата
60/	Глава 8.	Топлинен и нетоплинен ефекти на въздействие на електромагнитните полета върху човека. Краткотрайни и продължителни (хронични) въздействия и ефекти. Преки и последващи (късни) ефекти на въздействие. Първични и вторични ефекти
70/	Глава 9.	Видове изследвания. Цел на изследването. Използвани методи за оценка на въздействието. Системи и постановки за въздействие. Изследване „случай-контрол“, „кохортно изследване“, „сляп“ и „двойно сляп“ експеримент. Основи на епидемиологичното проучване. Ретроспективно изследване. Методология на изследванията за въздействие на електромагнитни лъчения.
77/	Глава 10.	Параметри, свързани с оценката на риска от въздействието на нейонизиращи лъчения върху човека
88/	Глава 11.	Хигиенно нормиране. Прагове на въздействие на НЙЛ. Стандарти. Дефиниции. Биологични критерии. Базови норми. Референтни стойности. Коефициенти на хигиенен запас. Енергетични и информационни критерии.
109/	Глава 12.	Политика на международните организации за ограничаване на риска. Предупредителен принцип / принцип на превантивност
119/	Глава 13.	Електромагнитна „свръхчувствителност“. Симптоми. Причини
124/	Глава 14.	Риск. Оценка на риска. Възприятие, комуникация и управление на риска

- 131/ **Раздел 1.** Постоянни полета. Приложение. Специфични и неспецифични ефекти от въздействието им. Максимално-допустими стойности. Способи за намаляване на интензитетите на електростатичното поле и на плътността на магнитния поток.
- 135/ **Раздел 2.** Свръхнискочестотни електрически и магнитни полета. Индуцирани токове в организма. Вредни ефекти от въздействието им. Канцерогенен ефект. Максимално-допустими стойности. Способи за намаляване на интензитетите на електрическото поле и на плътността на магнитния поток на магнитното поле.
- 144/ **Раздел 3.** Радиочестотни и микровълнови електромагнитни полета. Източници. Мобилна комуникация. Термичен и субтермични ефекти от въздействието им. „Радиовълново въздействие”. Максимално-допустими стойности. Оценка на риска. Способи за намаляване на интензитетите на електромагнитното поле.
- 153/ **Раздел 4.** Методи за измерване и оценка на стойностите на ЕМП. Близка и далечна зона. Методи за оценка на експозицията.
- 163/ **Раздел 5.** Съответствие между основните ограничения и референтните стойности. Математически методи за връзка между граничните стойности на експозиция (ГСЕ) и стойностите за предприемане на действие (СПД).
- 169/ **Раздел 6.** Оптични полихроматични лъчения. Класификация. Източници. Биологично и вредно въздействие върху очите и кожата на човека. Механизми на биологичния ефект. Методи и средства за дозиметрична оценка. Норми и стандарти. Оценка на експозицията и риска.
- 187/ **Раздел 7.** Лазерни лъчения. Видове лазери и тяхното приложение. Вредно действие на лазерното лъчение върху човека. Разпространение на лазерното лъчение в работна среда. Принципи на лазерната защита. Класификация на лазерите по степен на риск. Оценка на конкретните условия на облъчване на човека. Оценка на риска.

ГЛАВА 1

ВЪВЕДЕНИЕ

Класически и квантови представи във физиката. Неточности и противоречия в науката

Новороденото бебе – **електричеството и магнетизма**, „порасна“ и „остаря“ - вече е част от нашия живот от няколко столетия. Електромагнетизмът занимава и помага на човечеството със своите открития, приложения, технологии и вече десетки години е основа за философски спорове и за разрушаване на традиционното мислене.

Нилс Бор казва за законите на физиката, в частност електродинамиката, че *„Има неща толкова сложни, че за тях може да се говори само на шега“*.

Всъщност, физиката действително е сложна наука, но както се оказва в науката: „Гениалните неща винаги са много прости!“ Това сериозно се отнася до науката **електродинамика**, която е основата на тази книга, тъй като тя е един от „най-елегантните“ раздели на физиката, особено в класическия ѝ смисъл. Айнщайн „обърка малко нещата“ с въвеждането на специалната теория на относителността, но въпреки това, квантовата теория на полето до разви и обясни много процеси и явления, които класическата електродинамика не можеше да осветли. Нилс Бор, който е един от основателите на квантовата физика, тук отново щеше да каже: *„Теорията ви е налудничава, но не е толкова налудничава, че да е вярна“*, и в този случай нямаше въобще да е прав.

Нека се обърнем към историята на науката, където физиката и философията са вървели ръка за ръка, преплетени в идеи, хипотези и теории...

Питали Майкъл Фарадей след лекция по електромагнетизъм:

„Какво от това? Каква е ползата от електромагнетизма?“

Той отговорил с въпрос:

„А каква е ползата от едно новородено бебе?“

Историята показва, че някои научни открития са направени съвършено случайно. Сред тях има и такива, които са променили посоката на научното мислене на човека. Разбира се, физиката познава и съвсем екзотични истории. Достатъчно е да си спомним Архимед и неговата вана, благодарение на която е открит прочутият му закон за равенството на масите на тялото, намиращо се под вода и на количеството изтласкана от него водна маса. Или пък Нютон и ябълката, която го ударила по главата, за да му „просветне“ закона за гравитацията.

Въпреки че учените проявяват интерес към електрическите явления още в началото на XVIII век, преломен момент в тази област бележат постиженията на Оерщед, който през 1819 г. демонстрира връзката между електричеството и магнетизма. Ханс Кристиан Оерщед (*Hans Christian Orsted, 1777 – 1851*) е роден на 14-ти август 1777 година, в малкото датско градче Рудкьобинг, намиращо се на остров Лангеланд, в семейството на местния аптекар. На 40 години Оерщед е на върха на своята кариера, написал е множество трудове, получил е безброй награди, признания и отличия. Заинтересован е от електрическите явления, които са основа на научните търсения по онова време и търси връзка между **електричеството и магнетизма**. Той счита, че тези две явления са взаимно свързани и имат една и съща природа. Така се стига до съдбоносната дата 11 септември 1820 година, когато по време на лекционна демонстрация, Оерщед случайно приближава магнитен компас към проводник, по който тече електрически ток. Стрелката на магнита се отмества и търсената връзка бива открита. Така става ясно, че електрическият ток създава магнитно поле, което завърта стрелката на компаса. Само седмица по-късно, на 18 септември, той

представя статия в академията, в която описва научно откритото от него явление.

По същото време Андре Ампер (*Andre-Marie Ampere, 1775-1836*) демонстрира пред академичното общество как два успоредни проводника, по които протича електрически ток, си взаимодействат в зависимост от това в какви посоки текат токовете през проводниците. Тези опити се считат за основа за създаването на науката електродинамика. Ампер описва теоретично връзката между протичащия през контур постоянен електрически ток и магнитното поле. Законът на Ампер гласи, че „интегралът на плътността на магнитния поток, преминаващ през затворен контур, е равен на тока, протичащ през контура, умножен с константата μ_0 – магнитната проникваемост на средата”. По-нататък, през 1861 г., Дж. Максвел (*James Clerk Maxwell, 1831–1879*), въвежда в закона на Ампер понятието „ток на преместване”, като по този начин се формулира зависимостта на Максвел – Ампер, която е едно от основните уравнения на електромагнетизма.

Тези новооткрити закони дават сериозен тласък и на изследователската дейност на Майкъл Фарадей. Майкъл Фарадей (*Michael Faraday, 1791 – 1867*) е английски физик, химик и физико-химик, направил много открития в областта на електромагнетизма. Освен че развива теорията на електромагнитните взаимодействия, той също открива и връзката между **магнитното поле и светлината**, което е първата индикация за **електромагнитната природа на светлината**. През 1831 г., след продължителни експерименти, Фарадей демонстрира явлението **електромагнитна индукция**, с което променя историята и светогледа на учените в света само чрез едно доста често изпитвано чувство – гнева. След като дълго време две различни по големина намотки, които Фарадей използвал за опита си, не давали надежда за някакво откритие, той изгубил за миг контрол над нервите си и ги ударил в земята, при което те се втрили една в друга и индуцирали електрически ток. Законът на Фарадей за индукцията гласи, че промяната на магнитното поле във времето поражда електродвижеща сила. Така

се открива и обратното твърдение на връзката на електрическото поле с магнитното поле: че „**промените на магнитното поле създават електрическо поле**”. Може да се каже, че Майкъл Фарадей има най-голямо влияние върху развитието на електричеството и магнетизма, в сравнение с всеки друг учен в тази област. Достатъчно е да споменем цитирания закон за индукцията, който казва, че „**електромагнитното поле, индуцирано в токов контур, е равно на производната по времето на магнитния поток, пресичащ контура, с отрицателен знак**”. Това е ясна зависимост, доказваща връзката между силовите линии на магнитното поле и възникването на ЕМП. Така се създават основите на електромагнетизма.

Законът на Гаус (известен като „теоремата на Гаус”) (*Johann Carl Friedrich Gauss, 1777–1855*) (1835 г., публ. 1867 г.) от друга страна, описва една важна зависимост, която е свързана с електрическото поле около затворена повърхност, създадено от мрежа електрически заряди, намиращи се във вътрешността на тази повърхност.

Окончателното математическо описание на електромагнетизма в класическия смисъл е извършено от Максвел, който през 1864 г. обединява няколко основни закона на електричеството и магнетизма: теоремата на Гаус, свързваща разпределението на електрическите заряди и резултантното електрическо поле, на Ампер (свързващ магнитното поле с протичащите токове през контур, създаващ полето), на Фарадей за магнитната индукция. Той разглежда закона на Ампер при наличие на промени на тока през контура с времето, като разработва система от четири основни уравнения - *уравненията на Максвел*, описващи елегантно класическата теория на електромагнетизма. В нея статичните полета (електростатичното поле и постоянното магнитно поле) са гранични случаи, при които полетата не търпят промени с времето.

Дж. Максвел е шотландски теоретичен физик и математик. Неговото най-голямо постижение в областта на науката е създаването на **класическата теория на електромагнетизма**, синтезираща всички предишни открития, експерименти и уравнения на електричест-

вото, магнетизма и дори на оптиката в една "елегантна" теория. Неговата система от уравнения, наречени „уравненията на Максвел“, демонстрира факта, че електричеството, магнетизма и дори светлината са различни прояви на едно и също явление – **електромагнитно поле**. От този момент нататък всички други класически закони и явления от тези и подобни дисциплини се разглеждат като частни случаи на уравненията на Максвел. Работата на Максвел в областта на електромагнетизма е наречена „второто най-голямо обединение във физиката след първото, извършено от Исаак Нютон.“

Максвел демонстрира, че електрическото и магнитното поле се разпространяват в пространството във формата на вълни, и то с постоянна скорост, равна на скоростта на светлината. Накрая, през 1864 г., Максвел написва „Динамична теория на електромагнитното поле“, където за пръв път той предлага на научната общественост факта, че светлината в действителност е вълнообразно явление в същата среда, в която съществуват електрическите и магнитните явления. Постиганията му в областта на обединения модел на електромагнетизма е едно от най-големите постижения на физиката.

Практическото осъществяване на излъчване, което е доказателство за правотата на теорията на електромагнетизма на Максвел, е извършено от Херц (*Heinrich Rudolf Hertz, 1857–1894*) през 1886-1888 г., т.е. 22 години по-късно от математическото обосноваване на теорията. Той реализира излъчване на електромагнитни вълни, които е изучил подробно. За последващо решаване на практически въпроси на разпространението на вълните, е въведено понятието „дипол на Херц“, което е основа за по-нататъшното описание на теорията на електромагнетизма.

Както беше описано по-горе, за светлината важат същите закони, както и за останалите ЕМВ от спектъра, като например радиочестоти или микровълни. При описанието на процесите на излъчване на светлината, разпространение и преминаване през различни материални среди, тя проявява дуализъм „вълна-частица“, които ще бъдат описани по-нататък подробно.

Когато преминаваме от класическите към квантовите представи за света и явленията, в частност от класическата към квантовата механика, много наши понятия се променят значително. *„Постепенно понятието сила „изчезва“, за сметка на понятията енергия и импулс, които придобиват изключително важно значение; вместо движението на частиците говорим за амплитуди на вероятностите, които се променят в пространството и времето. В цитираните амплитуди влизат дължините на вълните, свързани с импулсите, и честотите, свързани с енергиите. Импулсите и енергиите определят фазите на вълновите функции и по този начин стават много значими за квантовата механика. Вместо да говорим за силите, по-важно е как дължините на вълните се променят при взаимодействията. Представата ни за сила става второстепенна или въобще вече не говорим за нея. Дори в случаите, когато говорим за ядрени сили, се въвеждат енергиите на взаимодействие на два нуклона, а не силите, с които те си влияят. Не само това. Никой не диференцира енергията, за да установи какви са силите на взаимодействие.“*

Така известният физик Фейнман в своите лекции разказва как възникват в квантовата механика векторният и скаларният потенциал, чрез които по-нататък могат да бъдат въведени всички основни уравнения на електродинамиката. Оказва се, че именно поради това, че в квантовата механика главна роля играят импулсът и енергията, най-простият начин да се въведе квантово описание на електромагнитните ефекти, е да се използват векторният и скаларният потенциали A и ϕ .

Какво допринася **специалната теория на относителността** в развитието на електродинамиката?

Уравненията на Максвел от класическата електродинамика могат да бъдат използвани за доказване на факта, че всички ЕМВ, независимо от честотата на излъчване, се разпространяват с постоянна скорост, равна на скоростта на светлината: $C = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$. Получаването на този резултат е независимо от скоростта на движение на източника на светлината (или

ЕМВ с друга честота). Въпросите, които тук се поставят, са свързани с това как тази система ще изглежда, ако я наблюдаваме не от стационарна лаборатория, а от движеща се сателитна система със скорост, близка до светлинната. Подобни явления се описват от специалната теория на относителността. Тя е разработена от Алберт Айнщайн (*Albert Einstein, 1879–1955*) през 1905 г. и обобщава законите на класическата механика при много големи скорости, близки до скоростта на светлината. Специалната теория на относителността се отнася до въвеждането на различни инерциални системи на относителност. Тези системи са такива, че отговарят на изискванията на законите на механиката, докато външни сили не променят скоростта им на движение. Еквивалентността на инерциалните системи и константността на скоростта на светлината са двете идеи, които формират основата на специалната теория на относителността: те са аксиомите на тази теория. Написани в пълен текст, тези аксиоми са следните:

Аксиома № 1. Физичните закони трябва да имат същата форма във всички инерциални системи на относителност.

Аксиома № 2. Всички наблюдатели намират една и съща стойност за скоростта на светлината – c .

Резултатите, получени от специалната теория на относителността, трябва да бъдат в съответствие с тези две аксиоми. В механиката на пример, еквивалентността на масата и енергията ($E=mc^2$), както и нарастването на масата на движещи се тела със скорост, близка до скоростта на светлината, следва от релативистичните закони на Айнщайн. Тези ефекти са добре установени експериментално и съответстват на теоретичните предпоставки.

За да навлезем по-дълбоко в електромагнитните взаимодействия, трябва да обсъдим някои философски основи на физиката. Още в началото на описанията ще отбележим, че **електромагнитните взаимодействия в природата** са в основата на всички останали взаимодействия, независимо дали те са между веществени материални тела, полева материя или между частици, или биологични обекти. Това поставя електродинамиката, оп-

тиката на кохерентните и некохерентните лъчения като части от физиката на изключително високо ниво по отношение на възможността за проникването и преплитането им в природните закони и в частност, в развитието на биосферата.

В природата, на досегашния етап на развитие на науката, основно са известни 4 вида взаимодействия:

- Силни (ядрени) взаимодействия;
- Електромагнитни взаимодействия;
- Слаби взаимодействия;
- Гравитационни взаимодействия.

Протоните и неутроните участват във всички видове взаимодействия, като най-силно е ядреното взаимодействие. Приемайки съществуващата му сила за единица, съотношението между големините на четирите вида сили е следното:

$$1 : 10^{-2} : 10^{-14} : 10^{-36}.$$

Ядрените и слабите сили намаляват много бързо с разстоянието r между взаимодействащите си частици. Те се наричат *сили, действащи на малки разстояния*.

Силните (ядрените) взаимодействия осигуряват стабилност на ядрата, а електромагнитните – на атомите и молекулите.

Слабите взаимодействия са отговорни за такива фини ефекти, като превръщането на неутрон в протон и обратно, също за различните превръщания на елементарните частици, взаимодействията на неутриното с веществото.

Гравитационните взаимодействия осигуряват стабилността на космическите тела и системи.

Въпреки горната схема на взаимодействия, останалите 3 вида взаимодействия могат теоретично да се разгледат като произхождащи от електромагнитните взаимодействия.

Едновременно с това, физиката се е развивала във вековете едновременно с философията и до голяма степен тези две фундаментални науки са се преплитали при обясненията на явленията в природата. Така и електродинамиката е претърпяла изменения и противоречията между различните школи са довели до

бързото развитие на технологиите в последното столетие. Например физиката, в това число и физиката на електромагнитните взаимодействия, са разглеждани в два различни аспекта, в зависимост от това дали имаме предвид макро- или микроявления.

Електродинамиката в класическия смисъл до голяма степен е прилагана само при изучаване на взаимодействията на макрообекти и полета, докато за взаимодействията на микрообектите е прилагана квантовата електродинамика. Едновременно с това се е считало, че квантовата електродинамика не може да бъде използвана за обяснение на явленията при макрообектите, т.е. че квантовите ефекти са присъщи само за частиците - микрообекти.

Вярно е, че методите за изследване при двата подхода силно се различават: при изучаване на микрообектите се прилага вероятностният подход и статистически методи, докато при макрообектите класическата електродинамика дава сравнително точни решения при обяснение на взаимодействията. Това, обаче, не е основа за разделяне на макро- и микрообектите като различни по отношение на науката, която ги разглежда, както и спрямо законите на физиката, на които те се подчиняват.

Въпреки това, в течение на повече от столетие, основно се развиват теориите на квантовата физика и по-малко на класическата, която се счита за напълно завършена. Животът, обаче, изисква едновременно поставяне на микро- и макросвета при тяхното изучаване и теоретично обосноваване. Тази „метафизика“ на разделянето на двата вида процеси вече е сериозно остаряла и погледът върху явленията и взаимодействията в природата е променен.

Независимо от това, много явления се описват с математически инструмент, който донякъде е „фалшифициран“. Понякога в квантовата електродинамика се пренебрегват „неудобните“ разходящи членове на полином в числителя на получен резултат, като това в класическата физика се счита за лъженаука. Това се дължи на факта, че много явления в микросвета се разглеждат статистически и на вероятностен принцип. Накрая, трябва да стане ясно, че електродинамиката, класическа или квантова, е една наука и независимо дали е описана от

класическата или от квантовата теория, тя се отнася до електромагнитните взаимодействия, основа на почти всички явления в природата. Като доказателство, електричеството може да бъде разглеждано като основен структурен елемент на материята:

- С електрическа основа могат да се разглеждат повечето елементарни частици.
- Гравитационното поле също може да бъде определено като квадратично електрическо поле, а инерционното свойство на материята като електрическо свойство.
- Нарастването на масата в зависимост от скоростта, основа на теорията на относителността на Айнщайн, се дължи на поражащото се магнитно поле вследствие на ускоряването.
- Дори два едноименни заряда могат да бъдат в стабилна връзка – да са в потенциална яма, без наличието на други, неелектрически сили.
- При ядрото на атома не са установени други енергии освен електрически (електромагнитни).
- Отношението на енергията към масата на електрона е C^2 (скоростта на ЕМВ на квадрат), което отново е електромагнитна връзка на веществената материя с полевата.
- Засега структурата на електрона и позитрона не е достатъчно установена, но се предполага, че те са изградени от някакъв вид „електрическа материя“.

В този аспект може да се твърди, че „материята е електрическа“ в своята основа и всички взаимодействия в природата се основават на електрически, магнитни или електромагнитни явления.

Единството на микро- и макросвета при електромагнитните разглеждания е довело някои учени да формулират постулати („основни положения“), които обединяват теорията на класическата и квантовата физика в единна наука, позволяваща едновременно прилагане на подобни подходящи методи и подходи при изследване на взаимодействията в природата. Това е описано по-подробно в глава 3 на настоящата книга.

Въпреки елегантността на науката електродинамика, в частност оптика, и многото открития и технически съоръжения, технологии и др., доказващи практически правотата на теорията за електромагнетизма, независимо дали говорим в класическия или квантовия му смисъл, когато изследваме взаимодействията на електромагнитните вълни с биологичните обекти, срещаме сериозни затруднения. Факт е, че в последно време основните спорове в областта на влиянието на вредните фактори на средата се отнасят точно до тези взаимодействия.

В най-широк смисъл техническият прогрес винаги е бил свързан с различни реални или предполагаеми рискове и опасности. Приложението на електромагнитните полета в комуникациите, промишлеността, търговията и бита не прави изключение в това отношение.

По целия свят обществото се страхува, че експозицията на ЕМП, създадена например от електропроводите с високо напрежение, радарите, мобилните телефони и съответните базови станции, може да има неблагоприятни последици за здравето и преди всичко за децата. В резултат на това в някои страни, включително и у нас, изграждането на нови електропроводи или мрежи за мобилна комуникация среща значителна съпротива от страна на обществото.

Все по-често граждани се обръщат към специалисти, медии, държавни органи за информация относно възможните вредни ефекти от въздействието на електромагнитните лъчения върху човека. Главоболието, нарушеният сън, нервното напрежение, сърдечносъдовите оплаквания се свързват с наличието на излъчваща антена в близост до дома, електропровод или трафопост, базова станция за мобилни връзки на покрива на жилището и т. н. В повечето такива случаи лекарите предписват лечение на централната и вегетативната нервна система или диагностицират нервно-психическо заболяване, без да се задълбочават в истинския проблем.

Едновременно с това, фирмите за мобилни връзки, както и тези за обезпечаване с електрическа енергия, използват наивността на населението и сключват с гражданите поня-

кога неизгодни договори за монтиране на излъчващи съоръжения в жилищните сгради. Не винаги се спазват изискванията на нормативните документи и понякога такива съоръжения не се контролират от съответните органи на Министерството на здравеопазването и от други контролни държавни организации.

Вместо адекватна информация, медиите публикуват непроверени данни, често с тенденциозно изопачена информация, като тези, че „мобилните телефони предпазват от мозъчни тумори“ или че електромагнитното поле лекува всички болести от една страна, и обратно, че например, „основната причина за някои видове рак е ЕМП“.

При това положение населението въобще не е наясно със съществуващия и поне вероятния риск от електромагнитните лъчения.

Подобна е ситуацията и с работещите в условия на електромагнитни лъчения. Само малка част от работодателите, инспекторите по труда, работниците са наясно с професионалния риск, свързан с електромагнитните лъчения. Те знаят много повече за въздействието на шума, вибрациите, токсичните вещества във въздуха на работната среда, и много малко за електромагнитните лъчения. Незнанието достига до там, че често рискът от електромагнитно облъчване се счита подобен на този от йонизиращите лъчения, а понякога обратно - рискът от въздействието на електромагнитните лъчения въобще се пренебрегва.

За разлика от електромагнитните лъчения от по-нискочестотните диапазони, населението счита, че за светлината знае много повече. Това е така, защото ултравиолетовото (УВ) и инфрачервеното (ИЧ) лъчение са използвани от хората в продължение на много години за повишаване на имунитета, както и за профилактика и лечение на някои заболявания, свързани с имунната система. Всички знаят за благотворното влияние на Слънцето върху растежа на децата, намаляването на вероятността от развитие на рахит, за образуването на витамин D при облъчване с УВ лъчение. Независимо от множеството публикации за канцерогенността на УВ-В обхвата от Слънцето, почти никой не спира да ходи на море, да се съблича с цел

придобиване на тен, както и да се подлага на изкуствено лъчение в солариумите.

Трябва да споменем факта, че в началото на ХХ-ти век, тъмният тен не е бил на мода и най-често е бил свързан с цвета на „работническата класа“, която е извършвала дейности на открито. Чак през 1930 г., когато част от европейското общество е започнала да търси слънчеви места за туристически дестинации, се променя отношението към тена на кожата. Той се превръща в символ на здраве и възможност за използване на свободното време.

В настоящето тенът все още се счита за атрактивен и доказателство за здраве. За съжаление, обаче, все по-нарастващите заболявания от кожен рак е цената за човечеството, свързана с подобно мислене.

Едновременно с това, офталмолозите все по-често намират сериозна връзка между нивата на УВ лъчение и развитието на катаракта на очите.

Всичко това изисква сериозно намаляване на облъчването на населението с УВ лъчение, както от Слънцето, така и от изкуствени източници.

Широкият достъп на населението до научна и научно-популярна литература, в която, за съжаление, има сериозни противоречия и недостатъчно добре доказани научни факти по отношение на здравните ефекти, както и много икономически интереси и директно шарлатанство, смущава и води до необходимостта от задаване на въпроси - понякога коректни, често неясни, неточни или дори глупави.

Основният проблем в тази ситуация е липсата на адекватна информация за населението по отношение на риска от електромагнитните лъчения, както и получаването на обратна информация за специалистите за отношението на различни слоеве от населението към този риск.

Световната здравна организация (СЗО) още през м. май 1996 г., в отговор на нарастващия интерес на обществото към биологичните ефекти на електромагнитните лъчения и за решаване на стоящите проблеми пред науката в това отношение, предложи на правител-

ствата на различни страни в света съвместна работа в „Международен проект по НЙЛ“, с основно заглавие „Електромагнитните лъчения и здравето на населението“. Проектът има следните по-важни основни цели:

- да ревизира научната литература по проблемите на биологичните ефекти при електромагнитно въздействие;
- да идентифицира „белите петна“ в научното познание за оценката на риска от въздействието на ЕМЛ;
- да насочи специалистите към резултатни изследвания по проблемите на ЕМЛ;
- да оцени риска от въздействието на НЙЛ върху човека след завършване на необходимите научни изследвания;
- да фокусира изследванията в международен мащаб за хармонизиране на стандартите;
- да осигури информация за възприятието на риска, за комуникацията и управлението на риска;
- да съветва правителствата и неправителствените организации в света за приемане на национални изследователски програми по защита от НЙЛ.

В този проект в настоящия момент са привлечени повече от 60 страни от света, включително и Република България (от 1997 г.). Управлението на проекта се *извършва от Международен съветнически комитет* и от *Международен научен комитет*. Основните финансови и научни поддръжници на проекта са: Европейската комисия (ЕС), Международната агенция за научни изследвания на рака (IARC), Международната комисия по защита от нейонизиращи лъчения (ICNIRP), Международната електротехническа комисия (IEC), Международното бюро по труда (ILO), Международния телекомуникационен съюз (ITU), Северноатлантическия съюз (NATO) и Програмата на Обединените нации по околна среда (UNEP).

В настоящия момент УВ лъчение е основна част от изследователската част на проекта, като фактор с висока агресивност по отношение на здравето на населението, както и по-

ради факта, че все повече изкуствени източници на подобно лъчение се прилагат върху хора, включително солариуми за придобиване на тен.

От българска страна водещата организация по проекта е Националният център по обществено здраве и анализи (НЦОЗА) към Министерството на здравеопазването и Медицинският университет - Плевен. Със заповед на министъра на здравеопазването е създаден Експертен консултативен съвет (ЕКС) по защита от ЕМП, в който участват представители на различни ведомства, организации и фирми, занимаващи се с проблема, произвеждащи съоръжения, технологии, продукти с излъчване на ЕМП и такива, работещи в областта на измерванията и оценка на риска от въздействието на ЕМП върху човека.

ЕКС работи чрез създадената у нас Фондация „Фарадей“: Научен център по нейонизирани лъчения, който в годините е работил съвместно с много авторитетни международни организации, като СЗО, НАТО, Европейската организация по наука и развитие в авиацията (EOARD) към BBC на САЩ. Подобни научни центрове (асоциации, агенции, организации и др.) действат в развитите страни като Великобритания, Германия, Дания, Канада, Австралия и др., и имат за цел да оценяват риска от въздействието на нейонизирани лъчения, да подпомагат държавата при разработване и прилагане на международното и националното законодателство по защита от въздействието им, да подготвят компетентни специалисти по измерване и оценка на риска, да участват в международни научни колективи и т.н.

Основният проблем, който съществува при оценката на риска от въздействието на ЕМП върху човека, се явяват противоречията, които се описват в литературата. Споровете за това къде са границите на облъчване в различните честотни обхвати на ЕМП или кои литературни източници трябва да бъдат прилагани в процеса на оценката на риска води до факта, че в настоящия момент различни неправителствени организации не само че не приемат политиката на СЗО и ЕС, но някои от тях дори активно се борят срещу нея.

Например в различни страни и по различно време са приети различни резолюции, обръщащи се към населението с „факти“ за изключително вредното действие на ЕМП върху човека. Най-тежките и социалнозначими заболявания, като неоплазми, Алцхаймер, сърдечносъдовите заболявания, както и невровегетативни смущения, свързани с промени в съня, кръвното налягане и други подобни, се свързват с облъчването на населението с ЕМП. Особено много се спекулира с възможния риск от това въздействие върху „ранимите“ групи от населението – децата, майките-кърмачки, бременните, възрастните хора и такива с хронични заболявания. И то главно за радиочестотния и микровълновия обхват, където оперират технологиите за безжични комуникации. Като пример, през последните години бяха приети следните по-важни граждански резолюции за опасността от ЕМП:

- Резолюция от Катания, 2002 г. (Catania Resolution, September, 2002);
- Резолюция по ЕМП – Виена (Vienna EMF – Resolution, October 1998);
- GSM – инициатива (Plattform GSM-Initiativen, 2000);
- Залцбургска резолюция за базовите станции на мобилната комуникация (Salzburg Resolution on Mobile Telecommunication Base Stations, June 2000);
- Резолюция от Международната научна конференция „Електросмор“ в Лако Амано, Италия (Resolution of the International Scientific Conference Electrosmog: “una sola scienza una sola verità at Lacco Ameno in Ischia, October 2001);
- Петиция за мобилната телефония, 1999 г. (Mobile Telephony Petition, 1999, Austria);
- Резолюция на Руския национален комитет по защита от нейонизирани лъчения (RNCNIRP): „Електромагнитните полета от мобилните телефони – децата принадлежат към група с повишен риск“ (RNCNIRP, Prof. Yuri Grigoryev, 04 Mar 2009, и по-нова резолюция Април 2011).

В настоящия момент е формиран международен комитет, т. н. работна група „Биоиници-

атива”, който има издание от няколкостотин страници, разпространявано чрез Интернет, критикуващо съществуващото ниво на науката в областта на вредните ефекти от ЕМП и препоръчващо приемането на здравни норми, които не само са технически недостижими, но и са в границите на естествения електромагнитен фон на Земята. Ясно е, че този начин на действие на група хора, най-често непрофесионалисти (дори лаици), политици, по-рядко учени, отрича цялата цивилизация, технологиите, всички открития, свързани с използването на електрическия ток и предполага връщането на човечеството в ерата на пещерния човек.

Съществува и т.нар. „Научна група по ЕМП” (EMF Scientist Group), създадена през последните години, която през 2015 и 2016 г. излезе с няколко апела към населението, СЗО и към ООН, с които голяма група учени изискват да се преразгледат граничните стойности за ЕМП, особено свързани с безжичните технологии и да се подтикнат изследвания с нискоинтензивни полета, които да докажат необходимостта от такова преразглеждане.

Разбира се, че в науката има неопределеност (несигурност), която следва да бъде оценявана. Сигурност (точност) 100% рядко се среща в научния език. Традиционно, учените изискват сигурност на положителните резултати, по-висока от 90%, най-често над 95%. При използването на английския терминологичен език при оценката на вероятността за определен научен резултат, например, се прилагат следните степени на характеризиране на доказателствата:

- Практически сигурен (virtually certain) – при положителен резултат (шанс) на събитието с вероятност над 99%;
- Много вероятен (very likely) – при резултат между 90 и 99%;
- Вероятен (likely) – при резултат между 66 и 90%;
- Средно възможен (medium likelihood) – при резултат между 33 и 66%;
- Малко вероятен (unlikely) – при резултат между 10 и 33%;

- Много малко вероятен (very unlikely) – при резултат между 1 и 10%;
- Изключително малко вероятен (exceptionally unlikely) – при шанс под 1%.

Пример за това как една сериозна международна организация – IARC (Международната агенция по изследване на рака) прилага този подход на оценка на неопределеността, е класификацията на канцерогените (химични субстанции, физични фактори и др.) за човека:

- Клас 1 – „доказан” канцероген;
- Клас 2a – „вероятен” канцероген;
- Клас 2b – „възможен” канцероген;
- Клас 3 – не може да бъде класифициран (няма достатъчно доказателства за неговата класификация като канцероген);
- Клас 4 – не е канцероген.

Ултравиолетовото лъчение от Слънцето, както и от изкуствените източници, включително солариумите, е добре известен и доказан канцероген. Международната агенция по изследване на рака е класифицирала този фактор в клас 1 – доказан канцероген за човека. Въпреки че УВ-то лъчение играе важна роля в поддържането на екологичната система на Земята, то продължава да е основната причина за възникването на кожен рак (особено УВ-В обхвата), както и на здравни проблеми, като например катаракта на очите.

В тази класификация магнитните полета от СНЧ обхват (от 1 до 300 Hz) са определени още в края на 90-те години като **канцероген от клас 2b – „възможен” канцероген**, на основата на епидемиологични проучвания, показващи по-високия процент на случаи от някои видове рак сред населението, експонирано на магнитно поле с плътност на магнитния поток над 0,3 μ T, особено отнасящо се до левкемии при децата.

През м. май 2011 г. Световната здравна организация, съвместно с Международната агенция по изследване на рака (IARC) в Лион, Франция, класифицира и радиочестотните ЕМП като **„възможен” канцероген за човека (клас 2b)**. Това решение е основано на по-високия риск за глиома, малигнен тип на мозъ-

чен тумор, свързан с ползването на безжични телефони. Работната група от СЗО и IARC дискутира възможността подобно облъчване да предизвика продължителни здравни ефекти, в частност повишен риск от рак. Това е с голямо обществено значение за населението, в частност за тези, които ползват клетъчни телефони, още повече, че броят на тези лица нараства бързо, особено сред младото поколение и децата.

На основата на факта, че през 2008 г. са установени нови 237913 случая на мозъчни тумори (всички типове в комбинация) в света, от които глиомите представляват 2/3 от тях, работната група е взела решение да включи радиочестотните електромагнитни полета в категорията на факторите, за които има **„ограничени доказателства за канцерогенеза“**. Това означава **„положителна връзка между фактора и ракови заболявания, на която може да се вярва, въпреки че няма ясни потвърждения за този факт“**.

При вземането на това сериозно решение са обсъдени резултатите от изследването INTERFON, което е с много участници от цял свят по отношение на връзката между риска за акустична неврома и облъчването с мобилен телефон. Доказателствата са дискутирани внимателно и оценката показва „ограничена връзка“ между заболяванията от глиома и акустична неврома и облъчването с електромагнитни полета от мобилни телефони, и неадекватна връзка между радиочестотните електромагнитни полета и всякакви други видове рак при човека. Работната група не оцени възможния риск, поради недостатъчната адекватност на доказателствата от научните изследвания и недостатъчния им период от време. Накрая, заключението е, че **„докато се съберат доказателствата за възможната връзка, е необходимо да се поддържа едно заключение за включване на радиочестотните електромагнитни полета от безжичните телефони като канцероген 2b от класификацията на IARC“**.

Най-общо, научните методи разделят „установените“ (доказаните) от „несигурните“ (неопределените) ефекти и препоръчва действия само за последните. Когато се установи риск,

при който има тенденция за „лъжливи“ негативни резултати (т.е. такива, които казват, че рискът не съществува, а всъщност такъв има), се изисква високо ниво за значимост на доказателствата. В контраст с науката, населението, обществото като цяло, по-често е готово да приеме лъжливите позитивни резултати (т.е. че рискът съществува, докато в действителност такъв няма), понеже хората не искат да пренебрегват дори какъвто и да е потенциален риск.

Това традиционно противопоставяне на „доказаните“ с „несигурните“ ефекти понякога може да не бъде полезно. За всеки ефект или риск пълната оценка на научните резултати идентифицира някои области на познанието, някои полета на неопределеност, а също някои области, за които няма достатъчна информация. Разширеното понятие за познанието и неопределеността в науката варира в континуум, започвайки от ефекти, които са малко повече от хипотетични, през ефекти, за които има някакви доказателства, но със значителна неопределеност, до ефекти, които могат да бъдат отнесени като „установени, доказани“ от конвенционалните научни стандарти. Ролята на науката не се ограничава до последната група - „доказаните“ ефекти, но се разширява еднакво през целия континуум, като идентифицира ясно какво е известно в определената област и какви са неопределеностите и „бели петна (дупки)“ в познанието.

Пример за доказани ефекти от науката може да се вземе от изследванията на въздействието на оптичните лъчения и човека. Почти всички първични и вторични ефекти от облъчването на очите и кожата на човека, свързано с различните честотни обхвати (дължини на вълните) на светлината, са експериментално доказани. Причината за това са задълбочените изследвания, извършвани за доказване на вредните ефекти от въздействието на лазерните лъчения върху човека. Страхът, че тези лъчения могат да бъдат толкова опасни, колкото и рентгеновите лъчи, открити в началото на миналото столетие и дали своите жертви на науката, е довело до необходимостта от много изследвания през 70-те и 80-те години на XX век, както и досега.

Доказани са острите и хроничните ефекти от въздействието на ИЧ, видимата светлина и УВ лъчение, съответно дори по дължини на вълните. За УВ лъчение са доказани вредните въздействия, като възникването на рак на кожата, катаракта на очите и други ефекти, които могат да имат и положително въздействие върху имунната система на организма.

За останалите електромагнитни полета, обаче, нивото на неопределеност в науката е доста високо.

Обикновено нивото на неопределеност трябва да бъде намалявано във времето. Наличието на много изследвания в определена област не значи, че ние знаем достатъчно. Дори 5000 изследвания могат да осигурят правилен отговор на грешен въпрос. При това положение, оценките на „правилния“ резултат не винаги са качествени или, в повечето случаи, имат нужда от подкрепата на по-голямата част от учените.

Нека се върнем на отчета на работната група „Биоинициатива“ като пример за това как може да се направи обзор на част от научната литература с някои неприети в науката методи, които този доклад прилага и като резултат, съдържащата се информация не може да бъде защитена с научни доводи.

Първо: Този доклад не следва изискванията на науката за мултидисциплинарния метод за тегловното съотношение на научните доказателства в областта на вредните ефекти на ЕМП. Направеният научен обзор на литературата е основан главно на „позитивните“ резултати от въздействието на ЕМП върху човека и няма адекватна оценка на основата на съществуващите доказателства за това въздействие. В последните години повечето от изследванията са с негативен резултат.

Второ: Повечето от заключенията в доклада се основават на личните становища на неговите автори, а не на изводите, направени в публикациите. Голяма част от тези заключения нямат научна основа. Това е „манипулативен“ подход, целящ насочването на научното гледище към определени заключения.

Трето: В доклада на BioInitiative Working Group има много фактически грешки, свързани с „топлинни ефекти при ниски честоти“

(?), с описанието на неадекватността на действащите стандарти, които също не се основават на научни доказателства, както и много други.

В крайна сметка, докладът на работната група „Биоинициатива“ игнорира изключително важната граница, която медицинската наука поставя между „биологичен“ и „вреден“ ефект, както и не е обективно и балансирано отражението на съществуващата научна литература.

Новата организация „Научна група по ЕМП“ се позовава отново на известен брой позитивни научни резултати, без да взема предвид огромния брой на негативните такива, но предизвиква международната общественост към вземане на превантивни мерки при съответната неопределеност в науката, което е част от превантивния подход за защита на населението, който ще бъде описан по-нататък в настоящата монография.

В края на краищата: **„Има ли вреден ефект електромагнитната експозиция върху човека или не?“** Разбира се, че има! Но той се доказва с научни методи и подходи, на базата на допустими граници за неблагоприятно действие, установени на съответния етап на познанието в областта. Някой скептик би казал: „Да, но това е само в случай, че науката е доказала, че ефектът от въздействие на ЕМП е с прагово (гранично) действие. Ето, например, за йонизиращите лъчения, това въздействие все повече се счита за безпратово...“ Да, така е. Но хигиенната наука (засага!) е основана изцяло на праговото действие на вредните фактори на средата, защото прави сериозна разлика (граница) между „биологичния ефект“ и „вредния ефект“ за човека. В края на краищата, всяко общество живее на основата на определено ниво на науката за съответното историческо време.

Ето защо е много важно за цялото общество да се обсъдят сериозно тези въпроси на основата на съществуващото научно знание в настоящия момент, също и по отношение на чувствата на хората, икономическите интереси, ползите за компаниите, развитието на технологиите и на обществото. Тези въпроси ще бъдат обсъждани тук в подробности, след научен анализ на ситуацията.

ЛИТЕРАТУРА

1. Израел, М. – Световната здравна организация провежда политика на превантивност и унификация на стандартите по отношение на електромагнитното въздействие върху човека, Социална медицина, № 4, 2000 г., с. 3-4.
2. Израел, М. – Световният форум по хармонизация на стандартите по електромагнитни лъчения у нас постави нови задачи на службите по трудова медицина, Безопасност и трудова медицина, 4/2001, с.9-12.
3. Мисриханов, М., Н. Рубцова, А. Токарский - Обеспечение электромагнитной безопасности электросетевых объектов, изд. „Наука“, 2010, стр. 869.
4. Пенчев П. – Физически проблеми в електро-технологията, Варна, ВМЕИ, 1983.
5. Пенчев П. – Електротехнология, изд. „Техника“, София, 1983.
6. Учебник по хигиена, Хигиена и екология, Българска национална академия по медицина, под ред. на проф. д-р Д. Цветков, дмн, том I, изд. „Знание“ ЕООД, София, 1999 г.
7. Фейнман Р., Р. Лейтон, М. Сэндс - Фейнмановските лекции по физике, Том 6. Электродинамика, изд. „Мир“, 1966.
8. Физични фактори на работната среда, под ред. на доц.Ем.Ефремов, „Мед. и физк.“, С., 1988 г.
9. Хигиена, том I и том II, под ред. на проф. д-р Д. Цветков, изд. „Св. Кл. Охридски“, 2006 г.
10. Хигиена, епидемиология и професионални заболявания, доц. Д. Цветков, проф. Евг. Гъбев, ст.н.с. С. Иванова, „Мед. и физк.“, С., 1989 г.
11. Bioinitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF), www.bioinitiative.org/index.htm, 2007.
12. Bioinitiative Report, U-5601/EvR/iv/673-L1 Publication nr 2008/17E, Health Council of Netherlands, Sept. 2008.
13. Electromagnetic Fields, WHO, Local Authorities, Health and Environment, 1998
14. International Project “Electromagnetic fields”, WHO, Geneva, www.who.int/emf-peh/
15. Phillips B., C. Ball, D. Sackett, D. Badenoch, S. Straus, B. Haynes, M. Dawes (May 2001) - Levels of Evidence, Oxford Centre for Evidence-based Medicine. Retrieved on 2008-05-16.
16. TLVs and BEIs for chemical substances and physical agents & biological exposure indices, ACGIH, 2016.

ГЛАВА 2

Въведение в терминологията, свързана с оценката на риска от въздействието на нейонизиращите лъчения

В тази глава са дефинирани накратко някои по-често използвани термини и изрази, прилагани при оценката на риска от нейонизиращи лъчения. Същите са подредени по азбучен ред. Информацията е събрана от дефиниции на СЗО, международни организации, международни и национални стандарти, цитирани по-долу, от интернет сайтове и други.

Близка (реактивна – индукционна, капацитивна) зона - област в пространството, в която разстоянието от излъчвателя е много по-малко от дължината на вълната (поне 10 пъти), а векторите на електрическото и магнитното поле са независими един от друг както по фаза, така и по големина и посока на разпространение. Границата на близката зона се определя от две зависимости на разстоянието до източника – от дължината на вълната и от реалните размери на излъчвателя. В „близко поле“ стойностите на електрическото и магнитното поле зависят от разстоянието до източника по различен закон, а плътността на мощност (векторът на Пойнтинг) няма физически смисъл.

Гранична стойност - стойност на специфичен параметър, свързан с интензитета/енергията на електромагнитното поле, на който хората могат да бъдат максимално подложени (експонирани).

Гранични стойности на експозиция (ГСЕ) (дефиниция от Директива 2013/35/EK) - са стойности, определени въз основа на биофизи-

зични и биологични съображения, и по-специално въз основа на научно потвърдените краткосрочни и остри преки ефекти, т.е. топлинни ефекти и електрическа стимулация на тъканите. Дефинирани са два вида ГСЕ:

- **Гранични стойности на експозиция (ГСЕ) по отношение на последиците за здравето** (дефиниция от Директива 2013/35/ЕК) - ГСЕ, над които при работещите биха могли да възникнат вредни за здравето последици като нагряване или стимулация на нервните и мускулните тъкани;
- **Гранични стойности на експозиция (ГСЕ) по отношение на ефектите за чувствителност** - ГСЕ, над които при работещите би могло да възникне преходно разстройство на сетивните възприятия и незначителни промени в мозъчните функции.

Далечна (вълнова, зона на излъчване) зона - област в пространството, в която разстоянието от излъчвателя е много по-голямо от дължината на вълната, а векторите на електрическото и магнитното поле се разпространяват в посоката на разпространение на ЕМВ с еднакви фази, перпендикулярно един на друг и на посоката на разпространение, и в която формата на вълната е независима от разстоянието от източника. В тази зона големините на векторите на електрическото и магнитното поле се различават с константа, която се нарича вълново съпротивление на средата (плоско електромагнитно поле).

„Двойно слеп“ експеримент - в двойно слепия експеримент нито субектите, нито учените знаят кой принадлежи към контролната група и кой към експерименталната група. Само след записването на всички данни (в някои случаи, анализирани), учените научават кой субект към коя група принадлежи.

Доза – определя количествено енергията на лъчението, падаща или погълната от човека.

Дозен подход (при хигиенното нормиране) – подход, свързан с нормирането на количеството енергия, падаща или погълната от човека; включва времето на въздействие, както и реалните измерени количествени стойности на лъчението.

Дозиметрия – в случаите на въздействие с радио и микровълни, дозиметрията е методология за определяне на количеството на погълнатата от тялото или от биологичните тъкани електромагнитна енергия.

Експеримент - изследване, при което условията са под пряк контрол от страна на учения. От научна гледна точка, експеримент (Latin: ex-periri, „от опитване“) е метод за изследване на специфични научни въпроси или за разрешаване на специфични проблеми. Експериментът е емпиричен подход за достигане на по-дълбоки научни познания за света и се използва както в природните, така и в социалните науки.

Експозиция (въздействие, облъчване) – въздействие на вреден фактор/агент (нейонизиращо лъчение); оценява се чрез енергията на лъчението, попадаща върху човека за определено време.

Електрическо поле - област в пространството (или материална среда), свързана с разпределение на електрически сили, действащи върху стационарни електрически заряди. Векторът на електрическото поле се отбелязва с E .

Електродинамика - клон от физиката, която се занимава с взаимодействия между електрическите и механичните сили; има класическа и квантова електродинамика, описваща дуализма при електромагнитното поле по отношение на разглеждането му в макро и в микросвета.

Електромагнитно поле (ЕМП) - представлява вид материя, която се характеризира със силово действие върху заредени частици. Дефинира се и като съвкупност от променливи, взаимно индуциращи се вихрови електрическо и магнитно полета. При микроскопско наблюдение електромагнитното поле проявява дискретни свойства – състои се от елементарни частици (кванти или фотони), а в условия на макроскопско наблюдение, електромагнитната енергия се разпространява във формата на електромагнитни вълни (ЕМВ), които от своя страна могат да се изразят чрез електрическото и магнитното поле, разпространяващи се в пространството.

Електромагнитна съвместимост (ЕМС)

- способността на електрически или електро-нен апарат (както и медицинска техника) да функционира удовлетворително в електромагнитна среда, без поява на интерференционни смущаващи сигнали от тази среда; особено важно при въздействие върху активни имплантанти в организма, като кардиостимулатори.

Енергетично натоварване на организма

– дозиметрична величина, пропорционална на енергията. Енергетичното натоварване на организма (W_E , W_H , W_S) се дефинира като произведение на квадратите на интензитетите на полето по времето: $E^2.T$, $H^2.T$ или $S.T$. Тези величини са пряко пропорционални на падащата електромагнитна енергия и могат да се дефинират като дозата на падащото лъчение. Ако се вземе предвид падащата електромагнитна енергия по посока на дългата ос на човека, тези величини могат да бъдат свързани директно с погълнатата енергия от единица маса, която за единица време се определя като "специфична погълната мощност" SAR.

Епидемиология – в случая на изследване на въздействието на нейонизиращите лъчения, епидемиологичните изследвания проследяват въздействието на тези фактори върху здравето на популацията.

Ефект - промяна в състоянието или динамиката на система, причинена от действието на фактор / агент; биологичен ефект – всяка промяна в организма под въздействие на фактора; здравен ефект – промяна в организма под действие на фактора, която е свързана с увреждане на здравето на индивида.

Зависимост „доза – отговор“ - връзка между въздействие, характеризиращо се с ниво и продължителност, и брой и/или тежест на неблагоприятните ефекти; по отношение на нейонизиращите лъчения тази зависимост е определена за някои доказани ефекти на въздействие, които са в основата на хигиенното нормиране.

Изследване на случай (case study) - вместо да използва много проби и да следва строг протокол за изпитване на ограничен брой от променливи, методът „изследване на случай“

включва в дълбочина едно лонгитудинално изследване на единичен пример или събитие: случай. Той изисква по систематичен начин да се наблюдават събития, да се събират данни, да се анализира информация и да се съобщават резултати.

Изследване чрез наблюдение - при което ученият няма контрол върху въздействието, само наблюдава какво става в групи от хора.

Интензитети на полето (електрическо, магнитно) – силата, с която полето въздейства на електрически заряди. Векторите на интензитетите на електрическото и магнитното поле се изразяват с E , V/m (Волти на метър) и H , A/m (Амperi на метър).

Канцероген - вещество или агент, предизвикващ рак; класификацията на канцерогените се извършва от Международната агенция по изследване на рака IARC.

Кохортно изследване - Това е изследване, което идентифицира група от хора и ги наблюдава в определен период от време, с цел да се установи как различни експозиции водят до различни последици. Този тип изследване се прилага обикновено, за да се оцени ефекта от предполагаеми рискови фактори, които не могат да се контролират експериментално по резултати, като например ефектът на тютюнопушенето върху белодробния рак. Същото се отнася до неизвестни механизми на въздействие, като например при хронично въздействие на нискочестотни електрически и магнитни полета.

Късен ефект от въздействието (long-term effect) - биологичен ефект, който се проявява продължително време след облъчване.

Лонгитудинално изследване - при което се изследва група от хора за определен период от време.

Магнитно поле - област в пространството (или материална среда), свързана с въздействието на сили върху феромагнитни частици или движещи се електрически заряди. Векторът на магнитното поле се отбелязва с B .

Междинни честоти (IF) - електромагнитни полета в честотния обхват от над 300 Hz до 10 MHz.

Микровълни – електромагнитни вълни с честоти от 300 MHz до 300 GHz (дължини на вълните от 1 m до 1 mm).

Моментен преглед с епидемиологичен подход (Cross-sectional study) - широкомащабно изследване, което се изпълнява на основата на предварително съществуващи данни, като събираните от Регистър за преброяване на населението, Раков регистър или от Център за контрол на заболяванията. Подобни изследвания могат да се правят върху големи групи или върху цялото население на определена страна, а също и върху по-малки, географски ограничени популации. При този вид епидемиологично изследване могат да се ползват данни на индивидуално ниво (отделен запис за субект, например в национален здравен преглед), информация на ниво група, като при това изследователят не притежава индивидуални записи.

Нейонизиращи лъчения – електромагнитни лъчения, чиито фотони нямат достатъчна енергия, за да водят до йонизиране или до разкъсване на ковалентни химични връзки в средата, през която преминават; те включват постоянните електрическо и магнитно полета, свръхнискочестотните електрическо и магнитно полета, радиочестотните електромагнитни вълни, микровълновите лъчения, оптичните лъчения до ултравиолетовото лъчение с енергия на фотона 12,4 eV, над която енергия електромагнитните фотони стават йонизиращи.

Непреки ефекти (дефиниция от Директива 2013/35/EK) - ефекти, предизвикани от наличието на обект в електромагнитното поле, което може да предизвика опасност за здравето или безопасността.

Ниски честоти (НЧ) - електромагнитни полета в честотния обхват от над 1 Hz до 100 kHz.

Облъчване в работна среда - всяко облъчване с електромагнитно поле, на което са подложени индивиди по време на извършване на работа, свързана с обслужване на източници на електромагнитно поле.

Опасност - източник на възможно увреждане или нараняване.

Оптични лъчения – електромагнитни вълни с

честоти над 300 GHz и с дължини на вълните от 1 mm до 180 nm; включват при намаляване на дължината на вълната спектъра на инфрачервеното (ИЧ), видимото и ултравиолетовото (УВ) лъчение.

Основни ограничения – научнообосновани гранични стойности, определени чрез установени директни и индиректни здравни ефекти от въздействието на променливи във времето електрически, магнитни и електромагнитни полета и чието превишение може да доведе до неблагоприятни последици върху човешкото здраве. В зависимост от честотата основните ограничения се изразяват чрез следните физични величини: плътност на индуцирания в тялото на човека ток, специфичната погълната мощност и енергия и плътността на мощността. Основните ограничения, които могат да се измерят директно извън човешкото тяло, са плътност на магнитния поток и плътност на мощността във въздушна среда.

Остро въздействие - краткотрайно въздействие с непосредствени последствия върху здравето.

Оценка на експозицията - оценката на количеството на въздействието или на потенциалното въздействие при действителни/реални ситуации.

Оценка на риска - организиран процес, прилаган за описване и оценяване на вредните здравни ефекти от въздействието на определен фактор на заобикалящата среда. Четирите стъпки в този процес са:

- Идентификация на опасността;
- Оценка на зависимостта “доза – отговор”;
- Оценка на въздействието/експозицията;
- Характеризиране на риска: синтез и обобщение на информацията относно потенциално опасна ситуация във форма, полезна и подходяща за органите, вземащи решения и заинтересованите страни.

Плътност на магнитния поток – определя се от интензитета на магнитното поле, умножен по магнитната проницаемост на средата, в която това поле се разпространява; изразява се с величината **B, T** (в Тесла).

Плътност на мощност (плътност на енергийния поток), вектор на Пойнтинг – дефинира се като векторното произведение на векторите на интензитета на електрическото и на плътността на магнитния поток $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{B}$; определя излъчването на електромагнитно поле и има физически смисъл на излъчената електромагнитна енергия от единица площ, перпендикулярна на посоката на излъчването; изразява се с величината S , W/m^2 (Ват на квадратен метър).

Поглъщане - при разпространение на радиовълновите електромагнитни вълни и микровълните. Поглъщането се дефинира като отслабване на радиовълните в резултат на разсейване на тяхната енергия, т.е. чрез превръщане на енергията им в друга, като например, в топлинна; при поглъщане от човека погълнатата енергия се изразява чрез величините **SAR** (специфична погълната мощност) или **SA** (специфична погълната енергия).

Постоянно електрическо поле/електростатично поле (ЕСП) – електрическо поле без промяна на вектора на полето с времето (дефинира се най-често при честоти от 0 до 1 Hz).

Постоянно магнитно поле (ПМП) – магнитно поле без промяна на вектора на полето с времето (дефинира се най-често при честоти от 0 до 1 Hz).

Прагова гранична стойност (TLV) е „стойност на опасност, която води до периодичен ефект или за продължителността на целия живот на човека, без да предизвиква соматични или ментални разстройства (включително латентни или компенсирани с времето) или други промени в здравния статус, извън границите на адаптационните реакции, и която може да бъде определена чрез общоприети методи в съответен момент или за бъдещ период от живота на настоящо или бъдещо поколение.”

Превантивен (предупредителен) подход/принцип - прилага се за управление на здравния риск в случаите, когато има несигурност в научните резултати, висок потенциален риск и полемика сред населението.

Преки биофизични ефекти (дефиниция от Директива 2013/35/ЕК) - ефекти, пряко пре-

дизвикани в човешкото тяло от наличието на електромагнитно поле, включително топлинни ефекти като нагряване на тъканите чрез поглъщане на енергия от електромагнитни полета в тъканите и нетоплинни ефекти като стимулация на мускулите, нервите или сетивните органи.

Принцип на предпазване ALARA (As Low As Reasonably Achievable) – в превод: „Толкова пониско, колкото е разумно постижимо”; използва се за минимизиране на рисковете, като се взимат предвид различни фактори, като цена, ползи или фактори на целесъобразност. Той се прилага само, когато става дума за стохастични (вероятностни) ефекти, свързани с безпорогов риск. Прилага се за йонизиращите лъчения.

Принцип на предпазване Prudent avoidance – в превод „Разумно достижимо”; използва се за минимизиране на рисковете, като се определя „степен на разумност”, включваща ниво на познания, страхове сред населението, цена. Прилага се в някои страни като превантивен подход при въздействие с електромагнитни полета върху населението.

Проспективно (вероятностно) изследване – Проспективното (вероятностно) изследване задава специфичен въпрос, най-често относно това как специфична експозиция/и действа на специфичен резултат/и, набира подходящи участници и следи за специфичните експозиции и последствия при тези лица в продължение на следващи месеци или години.

Публикация с предубеждение (bias) - предубеждението към публикувана статия се появява като резултат от тенденцията на учените и издателите да се отнасят към положителните експериментални резултати различно, спрямо негативните или неубедителните резултати. Изключително важно е този ефект да се открива в изследвания, които правят опит да обединяват резултати от няколко опита с определена цел, например за хигиенно нормиране.

Радиочестоти - този честотен обхват включва ниските честоти (свръхдългите и дългите вълни), средните честоти (средните вълни), високите честоти (късите вълни) и ултрависоките честоти (ултракъсите вълни) – от 300 Hz до 300 MHz.

Ретроспективно изследване – отнася се до данни и/или резултати, които вече са били събирани (от медицински регистри или от друго изследване в минало време) и се прилагат за оценка в настоящия момент. Данните, събрани по този начин, могат да не са толкова благонадеждни, колкото събираните проспективно данни, тъй като това се отнася до точността на регистрите, правени във времето, и на спомените на хората за определени събития в миналото, които могат да не са точни (погрешно възстановяване на събитията).

Референтни нива - параметри на електрическото, магнитното и електромагнитното поле, които подлежат на пряко измерване и оценка. Референтните нива могат да се получат от съответните основни ограничения чрез измерване и/или изчисления. В зависимост от честотата референтните нива се определят чрез следните физични величини: интензитет на електрическото и магнитното поле, плътност на магнитния поток, плътност на мощността, големината на контактният ток и на електрическият ток през крайниците.

Риск – вероятността даден индивид да стане жертва на някаква опасност. Друга дефиниция (на Агенцията по защита на околната среда на САЩ - EPA) е следната: Рискът е комбинацията между степента на вредния ефект и вероятността да има такъв ефект.

Свърхниски честоти (СНЧ) - честоти от над 0 Hz (от 1 Hz) до 300 Hz.

Свърхчувствителност към ЕМП (идиопатичен интолеранс към околната среда) – често се отбелязва като IEI-EMF: "Симптоми, които се проявяват в близост до електрически уреди и инсталации или при работа с тях, и които се проявяват като различни степени на дискомфорт или в здравни проблеми на определено лице, поради което това лице ги свързва с работата на електрическите уреди".

„Сляп“ опит (експеримент) - Слепият опит описва експерименти с информация, която би могла да включва интерес от страна на участниците или по някакъв друг начин самите те могат да изкривят резултатите. При този тип

сляп експеримент, индивидуалните субекти не знаят дали те са „тествани (изследвани)“ субекти или са членове на „контролна“ експериментална група.

„Случай-контрол“ (case-control study) - изследванията са с дизайн на епидемиологично изследване. Те се използват за идентифициране на фактори, които могат да доведат до здравно състояние чрез сравнение на група от лица/пациенти, които са в това състояние с група от лица/пациенти, които не са. То също може да се дефинира като изследване, което сравнява две групи от хора: една със заболяване или при съответно условие на изследването (случаи) и много подобна група от хора, която няма заболяването или съответното състояние (контроли). Учените изследват медицинската история и историята на живот на хората във всяка група, с цел изследване кои фактори могат да са свързани със заболяването или състоянието. Например една група може да бъде експонирана на определен фактор, докато другата – не. То също може да се разглежда като ретроспективно изследване в зависимост от периода на проследяването на случаите.

Специфична погълната енергия (SA) е енергията, погълната от единица маса биологични тъкани, измерена в J/kg (Джаул на килограм). Използва се за оценка на импулсни радиочестотни и микровълнови полета, с цел оценка на въздействието им върху слуха (микровълнов слух).

Специфична погълната мощност (SAR) е цялотелесна (при поглъщане на електромагнитната енергия от цялото тяло) или локална (при поглъщане на електромагнитната енергия от части на тялото: глава, торс, крайници) погълната енергия от единица маса от тъканите на тялото, изразена във Ват на килограм (W/kg). Цялотелесната SAR е мярка за връзка между вредния топлинен ефект и облъчването с радиочестотни и микровълнови полета. Стойността на локалната SAR е необходима за оценка и ограничаване на количествата електромагнитна енергия в малки части от тялото, което се получава при специфични условия на облъчване. Изразява се в **SAR, W/kg** (Вати на килограм).

Средно претеглена стойност по време – TWA (time weight average) – величина, определена от средната стойност на експозициите на работника при извършване на конкретни действия в течение на работния ден; въведена е за оценка на въздействието на токсични вещества в работната среда, но е приложима и за оценка при въздействие на нейонизиращи лъчения.

Среднодневен интензитет/плътност на мощност – интензитет на електрическото или магнитното поле, плътност на мощност, усреднени за продължителността на един работен ден или за денонощие (24 часа).

Сравнителен преглед - преглед на научна статия, извършен от един или повече експерти в дадената област на науката; показва дали тя има достатъчно качества, за да бъде публикувана в научно списание. Изследвания, които не са с достатъчно качество, не се публикуват, ако не бъдат коригирани техните недостатъци. Списания, които прилагат сравнителен преглед, са такива с по-високо качество от други, които не прилагат този подход. Подобен преглед се прилага и при разработването на гранични стойности за нейонизиращи лъчения.

Сравнителен риск - използва се за сравнение на риска при две различни групи от хора. Всички видове групи се сравняват с други при медицинско изследване, за да се види дали нарастването или намаляването на риска води до развитието на определено заболяване при една конкретна група. Този тип риск често се изразява в проценти на нарастване или намаляване, например „20% нарастване на риска“ при третиране (въздействие) А спрямо третиране Б. Ако сравнителният риск е например 300%, той може да се изрази в „трикратно нарастване“. Не е прието да се сравняват рискове от различни въздействия върху човека, например рискът от възникване на рак от физически фактори (например електромагнитно поле) и тютюнопушене.

Статистическа достоверност - статистическата достоверност означава, че резултатите не са случайни. В тези случаи можем да бъдем по-сигурни, че наблюдаваме „истинския“

резултат с определена зададена вероятност за доказване на събитие.

Стойности за предприемане на действие (СПД) - оперативни стойности, установени, за да се опрости процесът на доказване на спазването на съответните ГСЕ или, когато е приложимо, за да бъдат приети съответните мерки за защита или превенция.

Съотношение „цена – полза“ - метод в икономиката за оценка на съотношението между цените и ползите от прилагането на алтернативни стандарти с различни нива на защита на здравето; прилага се при разработването и прилагането на стандарти за нейонизиращи лъчения.

Установен (известен) риск – рискът е известен, когато той е установен чрез доказателства, получени по приети научни протоколи (съответен дизайн на научно изследване) и стандарти.

Хигиенни (здравни) норми – гранични стойности, основни ограничения, референтни нива, доза, в зависимост от параметъра, който се нормира и от нормативния документ, който го дефинира.

Хронично въздействие - продължително въздействие с късни или вторични последствия върху здравето на човека или върху неговото поколение.

Честота - брой на вълните или колебанията за една секунда. Единицата е Херц – Hz (1 Hz = 1 колебание за секунда).

Международни организации, свързани с оценка на риска от нейонизиращи лъчения, с разработването на гранични стойности и методи за изследване на експозицията и риска

- **Световна здравна организация (СЗО)** – организира и провежда международен проект “Електромагнитни полета”, в който участват повече от 60 държави.
- **Международно бюро по труда (МОТ)** – участва като съорганизатор на международен проект “Електромагнитни полета” на СЗО.

- **Международна електротехническа комисиия (МЕК)** – разработва методи за измерване, дозиметрия и оценка на експозицията.
- **Европейски комитет по електротехническа стандартизация (CENELEC)** – разработва методи за оценка на експозицията.
- **Европейска комисия (ЕК)** – разработва и въвежда в страните-членки гранични стойности на експозиция.
- **Международна агенция по изследване на рака (IARC)** - специализирана агенция към Световната здравна организация. Нейната мисия е да координира и подпомага изследванията относно причините за възникване на рак при човека, механизмите на канцерогенезата, и развитие на научни стратегии по отношение на контрола на раковите заболявания.
- **Международна институция по енергетика, електротехника и електроника (IEEE)** – независима международна организация, която разработва и въвежда гранични стойности за електромагнитни полета.
- **Международна комисия по защита от нейонизиращи лъчения (ICNIRP)**- независима международна научна организация, чиито цели са осигуряването на ръководства и препоръки по отношение на опасностите за здравето, предизвикани от облъчване с нейонизиращи лъчения. Тя е в официални отношения със Световната здравна организация, Международната организация по труда (ILO) и Европейската комисия.
- **Американска асоциация на държавните трудовохиgienисти (ACGIH)** – независима организация на трудовохиgienистите в САЩ и в света, която разработва прагови гранични стойности (TLVs) за физически, химични, биологични и други фактори на работната среда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тодоров, В. – Медицинска физика, Учебник за студенти по медицина и стоматология, София, 2002 г.
2. Хигиена, том I и том II, под ред. на проф. д-р Д. Цветков, изд. „Св. Кл. Охридски“, 2006 г.
3. Bob Phillips; Chris Ball, Dave Sackett, Doug Badenoch, Sharon Straus, Brian Haynes, Martin Dawes – Levels of evidence, May 2001, Oxford Centre for Evidence-based Medicine. Retrieved on 2008-05-16.
4. International Project “Electromagnetic fields”, WHO, Geneva, www.who.int/emf-peh/
5. Petiti D. – Hormone replacement therapy and coronary heart disease: four lessons, International Journal of Epidemiology, 2004, 33:471-463.
6. Radiofrequency electromagnetic fields, Properties, quantities and units, Biophysical interaction and measurements, NCRP, Report No. 67.
7. Schlesselman, JJ. Case-Control Studies: Design, Conduct, Analysis, New York: Oxford University Press, 1982, xv + 354 pp.
8. TLVs and BEIs for chemical substances and physical agents & biological exposure indices, ACGIH, 2016.

ГЛАВА 3

Физиката и електродинамиката. Електромагнитните взаимодействия – основа на взаимодействия в света

За да разберем електромагнитните взаимодействия, трябва да въведем някои понятия и да изпишем и анализираме законите на електродинамиката.

Преди всичко следва да въведем фундаменталното понятие „електрически заряд“ като основа на съвременната физика. Класическата електродинамика не търси физическия смисъл на това понятие, тъй като зарядът се дефинира като величина, характеризираща способността на едно тяло да участва в електромагнитни взаимодействия, като всички негови свойства се установяват само въз основа на експерименталното изучаване на взаимодействията. Свойствата на електрическия заряд, използвани при извеждането на законите на електродинамиката, се съдържат в някои основни твърдения, като например:

1. Не съществуват „безмасови“ (с нулева маса) заредени частици. Поради това, при разглежданията се използва терминът „заряд“, а не „заредено тяло“ например, още повече, че в почти всички случаи на взаимодействия в електродинамиката се има предвид точно зарядът на телата.
2. Съществуват 2 вида заряди, условно наречени „положителни“ и „отрицателни“, което е тривиален факт, защото при някои взаимодействия участват само един вид заряди (гравитацията) или други „величини“, които играят ролята на заряди (кварките).
3. Зарядът на едно тяло не зависи от неговото движение.

4. Зарядът е адитивна величина, тъй като зареденото тяло участва във взаимодействията чрез сумата от зарядите на частите от тялото.
5. Елементарният електрически заряд е със стойност $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ С и това означава, че зарядът на всяко заредено тяло е целочислено кратен на e .
6. Един фундаментален закон на електродинамиката е законът за запазване на електрическия заряд, който води до твърдението, че зарядът на система, която не обменя частици с околното пространство, е постоянен с времето.
7. Два заряда взаимодействат помежду си независимо от наличието на други заряди в пространството, което е различно от взаимодействията на ядрените сили. Силата, с която си взаимодействат два нуклона, например, зависи от това дали в околното пространство се намират други нуклони.

До настоящия момент физиката не свидетелства за наличие на краен размер на електроните, а едновременно с това има достатъчно доказателства за факта, че материалните тела са изградени от електрони и ядра. При това става ясно, че класическата електродинамика може да се изгради като *„теория на взаимодействията на точкови заряди, т.е. заряди, чиято форма и размери не влияят на търсените резултати при съответното разглеждане, в границата на точността“*.

Съгласно фундаменталните знания в областта на физиката в макроструктурите са заложили свойствата на техните явления, т.е. на микроструктурите. Това означава, че когато изследваме микроструктурите, до голяма степен и при определени условия можем да предвидим поведението на по-сложни йерархически структури. Важен факт при подобни изследвания на явленията се явяват свойствата на електрическите заряди, които се запазват при всякакви взаимодействия. Като пример как различни явления, изследвани от физиката, могат да бъдат обяснявани с взаимодействия на електрически заряди, са гравитационното поле като квадратично електрическо поле, инерционното свойство (също в основата си

електрическо), нарастването на масата със скоростта (дължащо се на пораждащото се магнитно поле при ускоряването) и т.н. Тук могат да се прибавят и други явления, които се обясняват с „електрически“ връзки, като стабилната връзка между едноименни заряди (намиращи се в потенциална яма), връзката между масата и енергията (коефициент на връзка – C^2), ядрените сили (в основата си електрически) и др.

В този смисъл материята е „електрическа“, а взаимодействията са „електромагнитни“. За да продължим описанието на явленията, свързани с взаимодействията в природата, трябва да приемем някои твърдения (постулати), които са основа на философията на класическата физика и са доказани от науката в настоящия етап. Тази философия се отнася до възможността да разглеждаме едновременно микро- и макроявленията в природата, като вероятностни явления, а именно:

Нека разгледаме първо самата **материя...**

Съществува дуализъм вещество – поле, което се характеризира с факта, че няма веществен вид материя без собствен полевид.

Това се отнася и до взаимодействията, а именно, че при тях материята се проявява винаги в единство на веществено и полево взаимодействие (проникване, деформация и др.).

Полето на всяко тяло има краен обем, т.е. то не действа до безкрайност. Полето има определена минимална крайна плътност на енергията по обвивната гранична повърхност на тялото.

Нека сега се прехвърлим към **взаимодействията между макротелата...**

Винаги при проникване на една материя в друга е налице и силово (енергийно) взаимодействие, в резултат на което вътрешната структура, а следователно и свойствата, параметрите на двата вида материя, се променят. На сегашния етап на експерименталната физика не винаги може да бъдат установени промените в свойствата или на параметрите на взаимодействащите си материални тела.

Основа за цитираните взаимодействия е фактът, че няма реална структура на веществото, при която в съответния ограничен обем да няма някакво електромагнитно (електрическо, магнитно) поле – главно електрическо, което е основното в атомните структури.

Разбира се, това води до следващия постулат, а именно, че: във всеки реален обем от веществото има енергийни взаимодействия, които се променят във времето и пространството. Тук вече можем да свържем микро- с макроявленията, като затвърдим становището, че в резултат от изменения в микросвета се променят макрофизичните свойства на веществото. И обратно – изменението на макрофизичните свойства е резултат от измененията на микрофизичните свойства (микроструктури, микроенергийни явления и др.).

Какво става с **микроструктурите?**

Съществува непрекъсната миграция на частици (вкл. и на заредени електрически частици) в структурите, в резултат на което непрекъснато се изменя разпределението им в определен обем в пространството и в определен интервал от време.

Непрекъснатото движение (колебания, миграция) на микрочастиците, независимо дали самостоятелно или като свързани компоненти (например атом, кристал и др.), физиката трябва да разглежда като връзката им с околната среда в близък и далечен порядък. Тук се има предвид, че при по-висока кинетична енергия връзките на микрочастиците с околната им среда са по-силни, независимо дали те са случайни или управлявани. Кинетичната енергия на „ансамбъла“ дава възможност материалното тяло да взаимодейства с околната среда, като тази енергия е мярка за възможността за взаимодействие. Едновременно с това, обаче, колкото кинетичната енергия на една структура е по-голяма, толкова по-голяма е и вероятността тази структура да се разруши.

Следващият постулат определя чрез закона за съхранение на енергията вероятността определена структура да бъде разрушена или да се запази като такава. Съотношението на кинетичната и потенциалната енергия (възмож-

ността за превръщането им от един вид в друг по закона за съхранение на енергията), определя и зараждането на нови условия за друг структурен статут на частиците, ансамблите и системите в материята. Смисълът тук е т.нар. „синергетичен ефект“, който се дефинира по следния начин: При определени условия (съответно натрупване на енергии, частици и др.) със скок **се преминава към ново структурно състояние**. На практика, това означава, че **съответната структура преминава от хаос към порядък**, чрез превръщане на енергията на частиците. И така, в природата **съществува самопроизволен процес, наречен синергетичен ефект**, при който ентропията намалява за определен интервал от време поради вътрешната самопроизволна организация на системата, вместо да нараства. Пример за синергетичен ефект е развитието на биологичните видове, съгласно Дарвиновата теория за еволюцията на видовете.

Този факт поставя въпроса дали количеството енергия само по себе си може да определи свойствата на веществото. Да, но само в тясна връзка с веществената материя, чрез определяне на свойствата на микро- и макросвета. Т.е. оттук следва изводът, че количеството енергия е мяра в съответен мащаб на количеството материя, а структурите определят вида на материята чрез съответните свойства на енергията (или материята), определени от самата структура и пространствените мащаби.

Как се въздейства върху частиците (микрообектите)? Отговорът е: и външно, и върху вътрешното им състояние, в зависимост от постановката на разглеждане.

Защо? Защото обемът на частиците няма резки граници, т.е. съществува преход, разстояние, което винаги е крайно, макар и много малко, но различно от нула. Този постулат важи както за микро-, така и за макрообектите.

Оттук вече можем да преминем към по-високи нива на взаимодействие, а именно да определим движението като трансформация, съдържаща изменение в енергетичното състояние на материята, като развитие, като превръщане на енергията от един вид в друг. Това означава, че при всяка промяна на ве-

ществената материя, съществува и енергийна трансформация. Тези взаимодействия се извършват при едновременното действие на две противоположни тенденции – към промяна на структурата или към самоорганизация на материята на по-високо ниво.

И още един постулат, свързан с четвъртото измерение – всички тези промени, преходи между отделните състояния на материята, се извършват в течение на определено време, дори и то да е много малко.

Тази „схема“ определя мисленето на учения – експериментатор, когато той разглежда или поставя съответни ограничителни условия при своята постановка на изследване на процесите в природата.

Освен това, тези постулати са основа на твърдението, че „всички процеси и явления в природата, взаимодействия, енергетични и веществени изменения, в основата си са електромагнитни“!

След тези разглеждания можем да дефинираме двата типа елементарни електрически заряди – положителния (протон) и отрицателния заряд (електрон). Връзката между две стационарни частици, носещи електрически заряд, се определя от Закона на Кулон, който включва 4 основни факта:

1. Противоположните заряди се привличат; еднаквите (по заряд – положителни или отрицателни) се отблъскват;
2. Силата на привличане (отблъскване) действа по направлението между двата заряда;
3. Силата на взаимодействие е пропорционална на големините на зарядите;
4. Силата на взаимодействие е обратно пропорционална на квадрата от разстоянието между частиците.

Изучаването на електромагнитните взаимодействия започва с най-простия случай – взаимодействието на неподвижни заряди. Фундаментално явление в електростатиката е привличането между разноименни и отблъскването между едноименни заряди, което се описва със Закона на Кулон (Coulomb), дискутиран по-горе. Математическият израз на закона на Coulomb е следният:

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_1}{r_{21}^3} \vec{r}_{21}, \quad (1)$$

където q_1 и q_2 са големините на зарядите, C ; r_{21} е разстоянието между зарядите, m ; $\vec{F}_{21}$ е силата на привличане (отблъскване) между зарядите; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C.N/m}^2$ е диелектричната константа на въздуха (свободно пространство).

За затворена повърхност $\vec{S}$, в която има произволно разпределен електрически заряд q_i , действа законът на Gauss, който определя потока на разпространение на електрическото поле $\vec{E}$, при което сумирането е ограничено само върху заряда, намиращ се вътре в ограничената повърхност:

$$\int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i q_i, \quad (2)$$

където $\vec{E}$ е векторът на електрическото поле; q_i са дискретни заряди в затворената повърхност S , m^2 .

При непрекъснато разпределение на заряда, математическият израз се променя по следния начин, като сумирането се извършва в целия обем V на разпределения заряд вътре в ограничената повърхност S :

$$\int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV, \quad (3)$$

където интегралът в дясната страна на равенството е върху целия обем V , вътре в повърхността S .

Интензитетът на електрическото поле $\vec{E}$ се изразява чрез потенциала ϕ , който може да бъде определен на разстояние r от електрически заряд с обемна плътност ρ в обем V с непрекъснато разпределение на заряда:

$$\vec{E} = -\nabla \phi, \quad (4)$$

където ∇ е операторът, а ϕ се определя от

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon} \int_V \frac{\rho}{r} dV. \quad (5)$$

В (5) $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ е диелектричната константа на средата; ϵ_r е относителната диелектрична проникваемост, а $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ е описаната по-горе диелектрична константа на въздуха.

Електрическото поле в диелектрична среда при наличие на диполи може да се изрази и чрез т.нар. електрическа индукция $\vec{D}$. Общият диполен момент $\vec{P}$ в единица обем е продукт от ориентацията на всички елементарни електрически диполи в обема. При това

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}, \text{ S/m}^2, \quad (6)$$

При облъчване на биологични среди с постоянно електрическо поле диелектричната константа е близка по стойност до тази на водата ($\epsilon \approx 80$).

Енергията на електрическото поле в обем V с диелектрична константа ϵ е

$$W_E = \frac{1}{2} \int_V \epsilon E^2 dV. \quad (7)$$

Магнитното поле на разстояние r от движещ се заряд q се изразява чрез плътността на магнитния поток (магнитната индукция) $\vec{B}$

$$\vec{B} = \frac{q\mu}{4\pi\epsilon r^3} (\vec{v} \times \vec{r}), \quad (8)$$

където $\mu = \mu_r \mu_0$ е магнитната проникваемост на средата. Тук μ_r е относителната магнитна проникваемост ($\mu_r = 1$ за вакуум и за повечето биологични среди), а $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ е магнитната проникваемост на вакуума.

Интензитетът на магнитното поле се дефинира чрез плътността на магнитния поток:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}, \quad (9)$$

Енергията на магнитното поле в обем V е:

$$W_H = \frac{1}{2} \int_V \mu H^2 dV, \quad (10)$$

Електромагнитното поле се описва посредством уравненията на Максвел, които свързват векторите на интензитетите на електрическото и магнитното поле и дефинират връзката между пространствено и временно зависимите величини в електродинамиката.

Законите на Максвел се представят в дифе-

ренциална форма по следния начин:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (11)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

В (11) J , A/m², е плътността на електрическия ток. Освен уравненията (11) векторите на интензитетите на електрическото и магнитното поле $\vec{E}$ и $\vec{H}$ удовлетворяват вълновото уравнение, което има следния вид (за интензитета на електрическото поле):

$$\nabla^2 \vec{E} - \alpha \omega \frac{d\vec{E}}{dt} - \mu \frac{d^2 \vec{E}}{dt^2} = 0, \quad (12)$$

Уравнението (12) има едно решение и то е следното:

$$E = E_0 e^{j\omega x - \gamma z}, \quad (13)$$

Това решение представлява синусоидално изменяща се плоска електромагнитна вълна с

честота $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$, която се разпространява по оста $+z$. В (13) E_0 е максималната амплитуда на $\vec{E}$, а $\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon)}$ - комплексна величина, представляваща константа на разпространение на полето; σ , 1/ $\Omega \cdot m$ е специфичната проводимост на средата.

Векторът $\vec{E}$ е ориентиран по оста $+x$, докато векторът на интензитета на магнитното поле $\vec{H}$ - по оста $+y$. Векторите $\vec{E}$ и $\vec{H}$ са ортогонални и се изменят едновременно във фаза.

Между тях има проста връзка: $H_y = \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} E_x$, като коефициентът на пропорционалност -

съотношението $\sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \eta$, представлява

вълновото съпротивление на средата, в която се разпространява ЕМВ.

В случаите, когато специфичната проводимост на средата $\sigma = 0$, което може да се разглежда

като среда без загуби от проводимост, т.е. диелектрик, ϵ е реална величина и комплексното вълново число (комплексната константа на разпространение на полето) се определя от израза $\gamma = j\beta = j\omega\sqrt{\mu\epsilon}$, където β е фазният коефициент.

В среда, в която специфичната проводимост $\sigma \neq 0$ (среда със загуби от проводимост), каквито са и биологичните тъкани, ϵ е комплексна величина и константата на разпространение се дава в общ вид с израза:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{j\omega\mu(\sigma + j\omega\epsilon_r')} = j\omega\sqrt{\mu\epsilon_0 \left(\epsilon_r' - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} \right)} \quad (14)$$

където относителната диелектрична прони-

цаемост $\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ е заместена с комплексна-

та диелектрична константа

$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = \epsilon_r' - j\frac{\sigma}{\omega\epsilon_0}$, в която реалната

част ϵ_r' характеризира диелектричните свойства на средата, а имагинерната ϵ_r'' - загубите на енергия в биологичната тъкан.

Величината, получена от отношението на имагинерната към реалната част на относителна

та диелектрична константа $\frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0\epsilon_r'} = tg\delta$,

се нарича фактор на загубите в тъканта.

Точно тази величина характеризира средата като проводник или диелектрик. В случаите, когато $tg\delta \ll 1$ съответното вещество се счита за диелектрик, тъй като в него преобладават диелектричните загуби (специфичната проводимост клони към 0); при $tg\delta \gg 1$, средата е проводник (преобладават загубите от проводимост); когато $tg\delta \approx 1$, средата е полупроводник и загубите от проводимост и диелектричните загуби са приблизително еднакви.

От зависимостта на $tg\delta$ от честотата (обратно пропорционална) се вижда, че при нарастване на честотата много среди, които се считат за добри проводници, губят в определена сте-

пен проводящите си свойства. Например при честоти над 300 MHz морската вода и сухата почва, които са проводящи при по-ниски честоти на ЕМП, се превръщат в диелектрици.

Повечето диелектрици са с $\tan \delta \approx 0,001$. При облъчване на проводящи среди с микровълнови полета, факторът на загубите може да е с 2 порядъка по-голям.

В диелектрик $\tan \delta \ll 1$, скоростта на разпространение на ЕМВ е

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \sqrt{\mu \varepsilon_0 \varepsilon_r'} \quad (15)$$

като във вакуум (въздух)

$$v = C = \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

Диелектричната и магнитната константи позволяват също да се определят коефициента на пречупване между две среди n , вълновото съпротивление на средата η , както и са свързани с дължината на вълната λ в средата, в която се разпространява ЕМВ:

$$v = \frac{C}{n}, \text{ където } n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r} \quad (16)$$

$$\eta = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{2\pi}{\omega \sqrt{\mu \varepsilon}} \quad (18)$$

Когато електромагнитната вълна достигне среда с различна електрическа и/или магнитна константа спрямо средата, в която се разпространява, могат да се дефинират коефициенти на отражение Γ и на поглъщане τ , които са зависими по следния начин:

$$|\tau| - |\Gamma| = 1. \quad (19)$$

При нормално падане на ЕМВ върху границата между две среди, коефициентите на отражение и поглъщане могат да се изразят и чрез импедансните коефициенти η_1 и η_2 , които представляват отношенията на интензитетите на отразеното и преминалото поле към интензитета на падащото ЕМП:

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \quad \text{и} \quad (20)$$

$$\tau = \frac{2\eta_2}{\eta_2 + \eta_1} \quad (21)$$

Енергията, която пренася електромагнитната вълна, се описва чрез вектора на Пойнтинг – плътността на мощност, по посоката на разпространение на вълната, т.е. енергията, преминала през единица площ, перпендикулярна на посоката на разпространение на вълната за единица време, изразена във W/m^2 :

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (22)$$

За плоска електромагнитна вълна векторът на Пойнтинг се изразява чрез интензитетите на електрическото и магнитното поле по следния начин:

$$S = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E^2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} H^2 \quad (23)$$

За вакуум (или въздух) вълновото съпроти-

$$\text{вление } Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = 120\pi \approx 377 \text{ } \Omega.$$

Въпреки че с простия случай на плоска електромагнитна вълна се описват много явления на разпространение и взаимодействие, в реалната ситуация повечето източници генерират много други типове ЕМВ.

Например решаването на вълновото уравнение (12) в сферични координати води до ЕМВ с еднакви фази в сферична повърхност – така наречените сферични вълни. Посредством сферичните вълни се описва разпространението на електромагнитната енергия на далечни разстояния от източниците, извън (зад) дефинираната „близка зона“, която е свързана с дължината на излъчената ЕМВ, както и с геометричните размери на излъчвателите. Например, на голямо разстояние от малък токов елемент или от електрическа диполна антена („далечна, вълнова зона“) единствените компоненти на ЕМП, които имат значителна стойност в сферични координати $(r; \theta, \varphi)$, са E_θ и H_φ . Те са свързани помежду си с константата – вълново съпротивление на средата:

$$H_\varphi = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} E_\theta \quad (24)$$

Интензитетите на полето от (24) намаляват обратно пропорционално с първата степен на разстоянието r , като векторът на Пойнтинг е насочен по посоката на $+r$.

При големи разстояния от излъчвателите, където размерите им са пренебрежимо малки спрямо това разстояние r , сферичните вълни по характер се превръщат в плоски ЕМВ. Това означава, че далеч от антените може да се счита, че съществуват само плоски електромагнитни вълни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, Хр. – Електродинамика, „Наука и изкуство“, София, 1989 г.
2. Пенчев, П. – Физически проблеми в електротехнологията, ВМИ, Варна, 1983.
3. Grant, S., W. Phillips – Electromagnetism, John Wiley & Sons. Ltd., London, NY, Sydney, Toronto, 1976.
4. Вредни действия на електричеството и защита от тях, изд. „Техника“, под ред. на проф. Г. Анев, София, 1987, М. Израел: Раздел втори, с. 154.
5. Grant I., W. Phillips - Electromagnetism, John Wiley & Sons Ltd., London, New York, Sydney, Toronto, 1975.
6. Radiofrequency electromagnetic fields, Properties, quantities and units, Biophysical interaction and measurements, NCRP, Report No. 67.

ГЛАВА 4

Нейонизиращи лъчения – класификация. Приложение. Хигиенна значимост на нейонизиращите лъчения

Нейонизиращите лъчения (НЙЛ) са електромагнитни лъчения, които не притежават достатъчна енергия на единичния квант, за да могат да йонизират атомите или молекулите, т.е. да отделят електрон от атом или молекула, върху която въздействат. Това са електромагнитни лъчения със сравнително ниски честоти (по-малка енергия на фотона) и при преминаване през каквато и да е среда, не могат да я йонизират.

Въпреки че НЙЛ не могат да създават заредени йони при преминаване през различни среди, те имат достатъчна енергия за възбуждане на атомите, т.е. за преминаването им на по-високо енергетично ниво. При облъчване на биологични обекти се установяват разнообразни ефекти на взаимодействие в зависимост от честотния обхват и енергетичните характеристики на електромагнитното лъчение.

Критичните потенциали за йонизация на основните газове, които съставят атмосферния въздух, са следните:

- за молекулите на кислорода – 12,4 eV
- за атома на водорода – 13,6 eV
- за атома на азота – 14,5 eV
- за молекулата на азота – 15,5 eV
- за молекулата на водорода – 15,6 eV.

Примери за НЙЛ са ултравиолетовия (УВ) обхват, видимата светлина и инфрачервеното (ИЧ) лъчение, микровълновите и радиочестотните ЕМВ, нискочестотните и постоянните електрически и магнитни полета.

Видимото и УВ лъчение могат да предизвикат фотохимични реакции, да йонизират някои молекули или да ускорят химични реакции, такива като фотохимично стареене на кожата.

Светлината от Слънцето, която достига до земната повърхност, съдържа в голямата си част електромагнитни лъчения от нейонизиращия спектър, с изключение на част от УВ-лъчите с много малка дължина на вълната. По-голямата част от йонизиращите лъчения се поглъщат от земната атмосфера.

Най-общо са установени следните ефекти от въздействието на НЙЛ върху човека:

Ултравиолетово лъчение

Ултравиолетовото лъчение може да предизвика изгаряне на кожата и катаракти на очите. Най-общо, УВ-то лъчение се класифицира като близко, средно и далечно лъчение, в зависимост от дължината на вълната (енергията на кванта). Част от УВ спектър може да продуцира свободни радикали, с което уврежда директно клетката, като ефектът може да бъде канцерогенен. Ултравиолетовата светлина също продуцира меланин от меланоцитните клетки и предизвиква потъмняване на кожата. Предизвикано от УВ лъчение, се създава и витамин D в кожата, който има сериозно значение за имунитета на организма.

Прекомерното облъчване с УВ лъчение на очите води до „снежна слепота“, което се случва най-често на морския бряг или при наличие на сняг при слънчево време.

Видимо и инфрачервено лъчение; видимо лазерно лъчение

Видимата светлина може да предизвика различни ефекти върху човека. Ярката видима светлина дразни очите. Лазерите, излъчващи във видимия диапазон, могат да имат много по-силни ефекти и могат да увредят очите дори при малки мощности на излъчване. Много ярка видима светлина се използва за изгаряне на фоликулите на космите.

Микровълново и радиочестотно лъчение

Основният доказан ефект на въздействие е термичният, т.е. загряване на тъканите под въздействие на ЕМВ в дълбочина, зависеща от дължината на вълната на лъчението. Специфични ефекти, като катаракта на очите, промени в активността на сперматозоидите и други, са свързани с въздействието на лъчението върху „критични“ органи, които имат различно кръвоснабдяване спрямо околните тъкани. Неспецифични ефекти, като промени в централната и вегетативната нервна система, сърдечносъдова дисфункция и други подобни върху системите в организма, се основават на защитно-приспособителните функции на човека, свързани със състоянието на стрес.

Нискочестотни полета

Преките ефекти от въздействието им върху човека са свързани с възникването на заряди по повърхността на тялото и индуцирането на токове вътре в организма. Непреките (неспецифични) ефекти отново са свързани с промени в системите на организма, в зависимост от интензитетите на електрическото и магнитното поле, както и от времето на въздействие. Епидемиологичните проучвания говорят за възможна канцерогенеза на нискочестотното магнитно поле – левкемии и тумори на мозъка и централната нервна система, но досега няма известни механизми за обясняване на ефектите.

Постоянни полета

Специфичните ефекти от въздействие на електрическото поле са свързани с индуциране на електрически заряди по повърхността на тялото. Ефекти като главоболие, сърбежи, изсушаване на роговицата и други, които се описват от пациенти, не са доказани да се причиняват само от въздействието на постоянните електрически полета. „Положителните“ ефекти от въздействието на постоянното магнитно поле, като обезболяване, регулация на кръвния поток и на кръвното налягане, са само с емпиричен характер и няма достатъчно доказателства за причинно-следствена връзка.

Когато говорим за НЙЛ и техния спектър, трябва да отбележим, че съществуват редица **класификации**, които се различават основно в оптичния обхват на лъченията. Класифицирането на електромагнитни лъчения може да се извърши по честота f или ν , дължина на вълната λ или енергия на единичния квант E , който те притежават. Тези три величини, както е известно, са взаимно зависими, както следва:

$$\lambda = \frac{c}{f}; E = h\nu.$$

Тук $h = 6,626196 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ физическа константа – константата на Планк.

Спектърът на НЙЛ включва редица честотни обхвати, като всеки от тях може да бъде разглеждан като отделен фактор на средата. При по-нататъшното излагане на материята, ще стане ясно, че всеки един обхват (или фактор) има специфика по отношение на приложението му, разпространението, методите за измерване и оценка, вредното му въздействие върху човека, оценката на риска, както и методите за защита от въздействието на този вреден ефект.

Тук ще предложим спектър, който основно е „подреден“ по честоти от 0 Hz до края на УВ обхват на НЙЛ, като в таблица 1 са представени и останалите два параметъра, зависими от честотата.

Таблица 1. Спектър на електромагнитните лъчения

Диапазон/наименование	Честотен обхват	Дължина на вълната	Енергия на фотона
Постоянни полета			
• Електростатично поле (ЕСП)	0 Hz	Не се дефинира	Не се дефинира
• Постоянно магнитно поле (ПМП)	0 Hz	Не се дефинира	Не се дефинира
Променливи ЕМП			
• Свръхнискочестотни (СНЧ)	$> 0 \div 300 \text{ Hz}$	$> 10^3 \text{ km}$	Не се дефинира
• Радиочестотни ЕМП			
• Много ниски честоти/свръхдълги вълни (СДВ)	$0,3 \div 30 \text{ kHz}$	$> 10 \text{ km}$	Не се дефинира
- Ниски честоти (НЧ) / дълги вълни (ДВ)	$30 \div 300 \text{ kHz}$	$10 \div 1 \text{ km}$	Не се дефинира
- Средни честоти (СЧ) / средни вълни (СВ)	$300 \text{ kHz} \div 3 \text{ MHz}$	$1000 \div 100 \text{ m}$	-
- Високи честоти (ВЧ) / Къси вълни (КВ)	$3 \div 30 \text{ MHz}$	$100 \div 10 \text{ m}$	$\leq 1,24 \cdot 10^{-8} \text{ eV}$
- Ултрависоки честоти (УВЧ) / ултракъси вълни (УКВ)	$30 \div 300 \text{ MHz}$	$10 \div 1 \text{ m}$	$\leq 1,24 \cdot 10^{-6} \text{ eV}$
- Свръхвисокочестотни ЕМВ (СВЧ)/ микровълни	$0,3 \div 300 \text{ GHz}$	$1 \text{ m} \div 1 \text{ mm}$	$\leq 1,24 \cdot 10^{-3} \text{ eV}$
Оптични лъчения			
• Инфракчервено лъчение (ИЧ)	$> 3 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$	$1 \text{ mm} \div 0,76 \mu\text{m}$	-
• Видима светлина	$> 4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$	$0,76 \div 0,4 \mu\text{m}$	-
• Ултравиолетово лъчение (УВ)	$< 2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$	$0,4 \div 0,2 (0,1) \mu\text{m}$	$\leq 12,4 \text{ eV}$
Йонизиращи електромагнитни лъчения			
• Меко рентгеново лъчение (твърд ултравиолет)	$> 2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$	$100 \div 10 \text{ nm}$	$> 12,4 \text{ eV}$
• Рентгеново лъчение	-	$10 \text{ nm} \div 0,1 \text{ nm}$	-
• γ -лъчи	-	$100 \text{ pm} \div 1 \text{ pm}$	-

Почти няма област в индустрията, търговията, услугите, комуникациите, транспорта, медицината, бита, без да има източници на НЙЛ. Това ги поставя на изключително важно място в науката – на предните места на профилактиката, оценката на риска, законодателството, технологиите, защитата. Тази „универсалност“ на НЙЛ, както и противоречията в науката за вредните им ефекти върху човека, включително и възможната канцерогенеза, са основа за приоритет на тези фактори на много международни и национални организации. Цялото население е подложено на определен вид въздействия на НЙЛ от различни честотни обхвати, което изисква специално внимание от страна на здравните органи за оценка на експозицията и риска, както и за прилагането на профилактични мерки за различни части от населението.

Данните за проявата на „електромагнитна свръхчувствителност“ сред повече от 3% от населението, както и липсата на яснота по отношение на този феномен в науката, още повече изисква сериозно внимание към проблемите на здравето на населението, свързано с електромагнитно въздействие.

Населението до голяма степен повече се интересува (и изпитва по-осезаем страх) от йонизиращите лъчения, в сравнение с облъчването на човека с ЕМП от нейонизиращия спектър. Причините за това са много, но най-важната е фактът, че населението има информация за необратимите ефекти, които могат да възникнат в организма на човека от облъчване с рентгенови лъчи или други йонизиращи лъчения. Тук ще представим едно интересно сравнение на степента на опасност от въздействие на йонизиращи и НЙЛ върху населението:

Таблица 2. Степен на опасност от въздействие на йонизиращи и НЙЛ

ЙОНИЗИРАЩИ ЛЪЧЕНИЯ	НЕЙОНИЗИРАЩИ ЛЪЧЕНИЯ
• Облъчване на ограничена част от населението и на ограничена територия.	• Облъчване на практически цялото население.
• Облъчването на населението от изкуствени източници е непостоянно.	• Практически постоянно денонощно облъчване на населението.
• Практическа стабилност на нивата на йонизиращи лъчения в околната среда.	• Стремително нарастване на нивата на ЕМП в околната среда.
• Механизмите на биологично действие са известни.	• Знанието в областта на механизмите на биологичния ефект е недостатъчно.
• Ясна зависимост „доза-ефект“, с отчитане на кумулацията.	• Кумулативният ефект практически не е изучен.
• Добре е изучена патологията, включително и отдалечените последствия. Разработена е ефективна профилактика и терапия.	• Не е изучена патологията и отдалечените последствия. Практически не е разработена система за профилактика.
• Наличие на средства за измерване и дозиметричен контрол.	• Крайно недостатъчно обезпечаване със средства за измерване и дозиметрия.
• Недостатъчна оценка на опасността в периода след Втората Световна война и до 1986 г.	• Недостатъчно оценка на опасностите в периода на 70-те години и досега.
• Вземане на адекватни мерки за защита след аварията в Чернобил през 1986 г.	• Отсъствие на адекватни мерки за защита, профилактика, контрол, дори за изучаване на проблема.

Ние бихме прибавили и още едно много важно сравнение, което говори в полза на твърдението, че НЙЛ могат да се окажат не по-малко опасни за населението от йонизиращите лъчения. Факт е, че нормативната база (законодателството) в областта на йонизиращите лъчения е разработена и действа както в областта на контрола на тези лъчения, така и за профилактика и защита от възможно облъчване на работещите и населението. Това, обаче, не е така за НЙЛ: всяка страна има свои собствени виждания за законодателство, въпреки приетата от Европейската комисия (ЕК) *Препоръка 1999/519/ЕС относно ограничението на експозицията на обществото от въздействието на електромагнитни полета*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вредни действия на електричеството, под ред. на проф. Г. Анев, София, изд. „Техника“, 1987 г.
2. Физически фактори на средата – оценка на експозицията и риска за човека, Учебник за студенти по медицински специалности „опазване и контрол на общественото здраве“, „медицинска физика“, за специализанти по „медицинска санитарна физика“ и по „трудова медицина“, изд. МУ-Плевен, 2015.
3. Физични фактори на работната среда, под ред. на доц.Ем. Ефремов, „Мед. и физик.“, С., 1988 г.
4. Хигиена, том I и том II, под ред. на проф. д-р Д. Цветков, изд. „Св. Кл. Охридски“, 2006 г.
5. Хигиена, епидемиология и професионални заболявания, доц. Д. Цветков, проф. Евг. Гъбев, ст.н.с.

ГЛАВА 5

Излъчване и разпространение на електромагнитните вълни. Близка и далечна зона. Основи на оптиката и лазерната техника

Излъчване и разпространение на електромагнитните вълни. Близка и далечна зона. Както беше споменато по-горе, пръв Херц през 1886 г. практически е осъществил излъчване на електромагнитни вълни в пространството с помощта на т.нар. „дипол на Херц“. За този дипол е характерно, че общата му дължина е много по-малка от дължината на вълната, т.е. $l \ll \lambda$.

Електрическата диполна антена, която е физическият образ на линеен електрически дипол, представлява къс проводник, по който тече електрически ток със сила I , с кръгова честота

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}},$$

генериран от два заряда, намиращи се в двата края на проводника. Този дипол съответства до голяма степен на използвания в практиката **„елементарен електрически дипол/вibrator“**, който се дефинира като къс проводник с дължина l , много по-малка от дължината на вълната λ , при който разпределението на тока по дължината му е равномерно, т.е. токът във всяка негова точка има една и съща амплитуда и фаза. Електрическото и магнитното поле, излъчвани от електрическата диполна антена, в сферични координати, са E_r , E_θ и H_ϕ , където θ е ъгълът, който сключва посоката на излъчване с оста на токовия елемент:

$$H_r = 0$$

$$H_\theta = 0$$

$$H_\varphi = \frac{I \sin \theta}{4\pi} \left(\frac{1}{r^2} + j \frac{k}{r} \right) e^{-jkr} \quad (1)$$

Това решение се получава при използване на вектора на потенциала $\vec{A}$ от уравнението $\vec{H} = \nabla \times \vec{A}$, където $A_\varphi = 0$. При заместване на (1) в уравнения на Максвел, по отношение на вектора на електрическото поле, се получава следното:

$$E_r = -j \frac{I \cos \theta}{2\pi\omega\epsilon} \left(\frac{1}{r^3} + j \frac{k}{r^2} \right) e^{-jkr}$$

$$E_\theta = -j \frac{I \sin \theta}{4\pi\epsilon\omega} \left(\frac{1}{r^3} + j \frac{k}{r^2} - \frac{k^2}{r} \right) e^{-jkr}$$

$$E_\varphi = 0 \quad (2)$$

Както се вижда, зависимостта на електрическата и магнитната компонента от разстоянието до излъчвателя зависи от първата, втората и третата степен на това разстояние, в зависимост от това колко далеч от дипола разглеждаме тези компоненти. За да дискутираме по-ясно получените решения, ще разгледаме 3 различни зони, определени от условията $r \gg \lambda$, $r \approx \lambda$ и $r \ll \lambda$, с което ще направим съответни опростявания, за да тълкуваме получените решения. Тези 3 зони се наричат съответно близка, междинна и далечна зона на въздействие.

Нека започнем обсъждането с т.нар. „**близка зона**“.

При нея е изпълнено условието $r \ll \lambda$ или точката, в която се определят стойностите на полето, се намира в непосредствена близост до вибратора (дипола). Равенствата (1) и (2), поради малките стойности на величината $\frac{1}{r}$ спрямо тези с по-висока степен на разстоянието, придобиват в тази зона следния вид:

$$H_\varphi = \frac{I \sin \theta}{4\pi r^2} e^{-jkr}$$

$$E_r = -j \frac{I \cos \theta}{2\pi\omega\epsilon r^3} e^{-jkr}$$

$$E_\theta = -j \frac{I \sin \theta}{4\pi\epsilon\omega r^3} e^{-jkr} \quad (3)$$

Ако в (3) заместим $I = j\omega q$ и ако се има предвид, че в близката зона фазата на полето може да се пренебрегне, окончателно за интензитетите на ЕМП в близката зона може да се получат простите изрази:

$$H_\varphi = \frac{I \sin \theta}{4\pi r^2}$$

$$E_r = \frac{2ql}{4\pi\epsilon r^3} \cos \theta$$

$$E_\theta = \frac{ql}{4\pi\epsilon r^3} \sin \theta \quad (4)$$

Физическият смисъл на горните уравнения е свързан с това, че:

- Векторът на магнитното поле има само една компонента в пространството.
- Амплитудата на интензитета на магнитното поле на елементарен вибратор е равна на интензитета на полето, създадено от проводник със същата дължина l , каквато е линейният размер на елементарния дипол, и когато в проводника тече постоянен ток със стойност, равна на амплитудата на тока във вибратора. Зависимостта, описана с първото уравнение от системата (4), е законът на Био-Савар, известен от теорията на постоянните токове.
- Векторът на електрическото поле на елементарния електрически вибратор има две компоненти, които лежат в меридианната равнина.
- Амплитудата на интензитета на електрическото поле на елементарния електрически вибратор е равна на интензитета на полето, създадена от електрически дипол, който има в краищата си електрически заряди $-q$ и $+q$.

- Векторът на интензитета на електрическото поле е дефазан на 90° по отношение на вектора на интензитета на магнитното поле, което означава, че в близката зона не се осъществява излъчване. За всеки полупериод от време, векторът на Пойнтинг мени посоката си от вибратора навън и отвън към вибратора. Всички връзки, които могат да се осъществяват в тази зона, са реактивни – индуктивни или капацитивни, поради което близката зона се нарича често „индукционна“ или „реактивна“.

В „далечната зона“, където е изпълнено условието $r \gg \lambda$, и където точката, в която се определят стойностите на ЕМП, е много далеч от елементарния електрически вибратор, горните уравнения (3) и (4) придобиват следния вид:

$$\begin{aligned} H_\varphi &= j \frac{I l \sin \vartheta}{4\pi} \frac{\omega \sqrt{\varepsilon \mu}}{r} e^{-jkr} \\ E_\vartheta &= j \frac{I l \sin \vartheta}{4\pi} \cdot \omega \mu e^{-jkr} \end{aligned} \quad (5)$$

Или във вида от (4):

$$\begin{aligned} H_\varphi &= j \frac{I l \sin \vartheta}{2\lambda r} e^{-jkr} \\ E_\vartheta &= j \frac{I l \sin \vartheta}{2\lambda r} \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} e^{-jkr} \end{aligned} \quad (6)$$

Горните уравнения (6) позволяват да напишем проста зависимост между стойностите на интензитетите на електрическото и магнитното поле за далечната зона:

$$\frac{E_\vartheta}{H_\varphi} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \quad (7)$$

Тъй като за вакуум (въздух) $\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi$,

то $\frac{E_\vartheta}{H_\varphi} = 120\pi \approx 377\Omega$ и накрая, далеч от елементарния електрически дипол, можем да напишем максимално опростено следните зависимости:

$$\begin{aligned} H_\varphi &= j \frac{I l \sin \vartheta}{2\lambda r} e^{-jkr} \\ E_\vartheta &= j \frac{60 I l \sin \vartheta}{\lambda r} e^{-jkr} \end{aligned} \quad (8)$$

Отношението $\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$ има измерение на съпро-

тивление, както е описана дименсията по-горе, и се нарича вълново съпротивление на средата.

Освен това, както се вижда, не е описана компонентата по оста $r - E_r$, тъй като тя може да се пренебрегне при условието за далечна зона.

Последната система уравнения (8) определя следните особености на ЕМП:

- Векторите на електрическото и магнитното поле са взаимно перпендикулярни и лежат съответно в меридианната равнина и в равнина, перпендикулярна на нея.
- Електрическата и магнитната компонента на полето имат характер на сферична вълна, като зависимостта на амплитудата на полето е обратно пропорционална на разстоянието r , а фазата е линейна функция на същото това разстояние r .
- Интензитетите на полето са пропорционални на отношението $\frac{I}{\lambda}$.

- Стойността на вектора на електрическото поле е пропорционална на стойността на вектора на магнитното поле, като коефициентът на пропорционалност е $Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$.

Поради тази пропорционалност и константната величина на вълновото съпротивление на средата за една определена среда, в която се разпространява вълната, ЕМП може да се характеризира само с едната от двете компоненти на полето.

- Особено важен резултат от тези пресмятания е фактът, че векторът на електрическото поле е във фаза с вектора на магнитното поле. При това векторът на Пойнтинг има определена посока навън от вибратора и големина, която не зависи от времето. Плътността на излъчената мощност (векторът на Пойнтинг) се изменя със $\sin^2 \vartheta$, като максималните и стойности се получават при $\vartheta = \frac{\pi}{2}$ - в екваториалната равнина.

Поради това далечната зона се нарича още „зона на излъчване“ или „вълнова зона“.

Междинната зона не може да се дефинира точно, но в най-общия случай, тя е при раз-

стояния до вибратора $r \approx \lambda$. В нея могат да се открият както реактивни въздействия, така и суперпозиция от електромагнитни вълни, поради което е трудно да бъдат изписани съответните уравнения за дефиниране на интензитетите на полето.

Освен елементарния електрически вибратор може да се дефинира „**елементарна магнитна рамка**“ и да се изследват зоните около нея по подобие на определените по-горе. Резултатите ще бъдат същите, както получените при дефинирането на електрическия дипол. Магнитният аналог на електрическата диполна антена представлява токов елемент I от кръгова рамка с радиус d , незначителен по дължина спрямо дължината на вълната, т.е. $d \ll \lambda$.

В реалния случай, когато излъчващият дипол (рамка) има реални размери D , m спрямо дефинирания елементарен дипол, към горните условия за определяне на близката и далечната зона се прибавя още едно условие, което е свързано със следното:

$$r < \frac{2D^2}{\lambda} \quad \text{– близка зона;}$$

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \quad \text{– далечна зона.}$$

Когато се налага излъчване на остро насочен електромагнитен сноп енергия, често се използва **интерференцията на електромагнитните вълни** от два или повече източника. Най-простата антена на този принцип (антенната решетка) се състои от два дипола с електрически ток в посока $+z$. Излъченото ЕМП е с компоненти E_z и H_ϕ , като отново е в сила уравнение (7), но с обратен знак.

Описаните тук случаи на излъчване са най-простените в теорията. В практиката обикновено се прилагат много по-сложни антени с различни диаграми на излъчване, форма и поляризация на вълните.

Плътността на енергията на излъченото ЕМП се определя като сума от обемните плътности на електрическата W_E и магнитната W_H енергии:

$$W = W_E + W_H = \frac{1}{2}(\vec{E} \cdot \vec{D}) + (\vec{B} \cdot \vec{H}) \quad (9)$$

Общата разсеяна енергия за единица обем V от електрически ток I се получава от израза:

$$\int_V \vec{E} \cdot \vec{J} \cdot dV = -\frac{d}{dt}(W_E + W_H) - \int_\alpha (\vec{E} \times \vec{H}) \cdot \vec{n} \cdot d\alpha, \quad (10)$$

където α е повърхността, която обхваща обема V , а $\vec{n}$ е единичен вектор, насочен перпендикулярно на повърхността.

Взаимодействието на електромагнитните вълни с различни среди, което е важен елемент от биологичното им действие, зависи от **поляризацията** им.

Линейно поляризирана се нарича такава вълна, при която за всяко време t и посока на разпространение z , векторът на интензитета $\vec{E}$ (или $\vec{H}$) е насочен в една и съща посока (например по оста $+x$).

Кръгово поляризирана е тази вълна, при която две линейно поляризирани вълни – едната по $+x$, а другата по $+y$, с равни амплитуди, се сумират по време при разлика във фазите 90° .

Същото определение може да се даде и за **елиптично поляризирана електромагнитна вълна**, като само амплитудите на двете линейно поляризирани вълни се различават помежду си.

Важна характеристика на полето от гледна точка на въздействието му върху биологичните обекти, е **модулацията**. Най-общо, модулацията определя зависимостта на ЕМП от времето t . Когато тази зависимост от времето е постоянна за продължителен период от време, електромагнитното поле е непрекъснато. В повечето случаи, обаче, реалните излъчватели излъчват импулсно, с амплитудна, честотна или друг тип модулация.

При някои положения на радарите антената излъчва краткотраен импулс и след това не излъчва продължително време, докато бъде приета отразената от обекта електромагнитна вълна. Въртенето на антените (например, когато радар обхожда определена област от пространството) също води до изменение на интензитетите на ЕМП с времето в определена точка от пространството, където изследваме полето.

Основи на оптиката. Светлината е още един пример за взаимодействие от разстояние.

Светлинният източник създава електромагнитно поле, което „изпълва“ пространството между източника и приемника. Светлината може да бъде разглеждана в дуализъм „корпускулярно-вълнов“. Вълновите свойства на светлината са свързани с явленията отражение и пречупване, интерференция и дифракция, поляризация, дисперсия, разсейване. Корпускулярните свойства на светлината се изразяват основно чрез взаимодействията на единичните кванти (фотони) с веществото: люминесценция, топлинно излъчване, фотоелектрични явления.

Когато разглеждаме квантовите свойства на светлината, трябва да въведем термина квант/фотон, който е в основата на хипотезата на Планк, че електромагнитното лъчение може да се излъчва на порции (кванти) с точно определена енергия, пропорционална на честотата на ЕМВ:

$$E = h\nu,$$

където $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ и представлява т.нар. „константа на Планк“. Значението на горното уравнение е свързано с връзката между **корпускулните и вълнови свойства на светлината**. То изразява факта, че енергията на единичния фотон (частица) е пропорционална на честотата на ЕМВ (вълна).

Във **вълновия модел на светлината** тя представлява напречна ЕМВ, т.е. електрическо и магнитно поле, чиито вектори са перпендикулярни един на друг и която се разпространява по посока, перпендикулярна на равнината, в която осцилират векторите на полето. Както се вижда, това дефиниране на светлината като вълново явление напълно съответства на описаната по-горе напречна ЕМВ, дефинирана за далечната зона. Скоростта на разпространение на светлината във вакуум е същата, както на ЕМВ от целия електромагнитен спектър, т.е. $c \cong 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Не случайно скоростта на разпространение на ЕМВ, независимо от честотата им, се нарича „*скорост на разпространение на светлината*“. Тази скорост е по-малка при разпространение на ЕМВ във вещество. Като пример, скоростта на светлината във водна среда е $c \approx 2,3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, докато в стъкло $c \cong 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Чрез това явление се определя показателят на пречупване при преминаване

на светлинната вълна от вакуум във веществена материална среда и се дефинира по следния начин:

$$n = \frac{c}{V} = \frac{\nu \lambda_0}{\nu \lambda} = \frac{\lambda_0}{\lambda},$$

където λ е дължината на вълната в разглежданата среда, n - показателят ѝ на пречупване, ν - честотата на светлинните вълни, λ_0 - дължината на вълната във вакуум.

Този показател е подробно изследван за някои материални среди, които се използват в оптиката за оптични системи. Изменението на показателя на пречупване с дължината на вълната при преминаването ѝ през стъкло се нарича дисперсия и показва, че различните дължини на вълната от светлинния спектър преминават през стъклото с различна скорост. При това стъклата се наричат *дисперсни среди*. Различават се нормална и аномална дисперсия, при които показателят на пречупване n съответно се увеличава/намалява с нарастване на дължината на вълната.

Друго важно явление, свързано с вълновите свойства на светлината, е *интерференцията*. За да обясним това явление, ще приложим *принципа на суперпозиция*, който може да се приложи за всякакъв вид трептения, включително ЕМВ с много по-ниски честоти от светлинните. Той се отнася до процеса на наслагване на различни движения (трептения). Прилагайки този принцип, всяко периодично движение, независимо от неговата сложност, може да се сведе до сума от прости хармонични трептения.

Принципът на суперпозицията, приложен за ЕМВ, води до явлението интерференция. Какво се случва, когато два или повече светлинни лъча попаднат в една и съща точка в пространството? В случаите, когато тези светлинни лъчи са от два независими източника или от две части на един източник с ЕМВ с различни фази, сумарната енергия ще представлява сумата от енергиите на двата снопа. Този случай е на независими източници, които в най-общия случай се наричат *некохерентни*. Когато съотношението на фазите на двата снопа е постоянно, източниците се наричат кохерентни и тогава се извършва сумиране на амплитудите

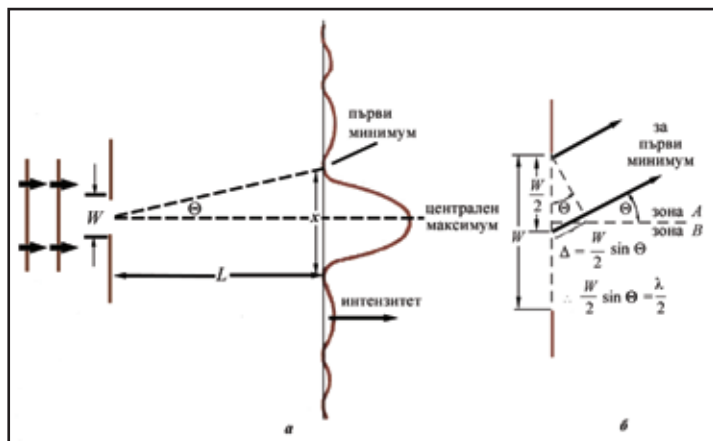
на ЕМВ. Съгласно принципа на суперпозицията, приложен за кохерентни светлинни снопове, сумарният интензитет на светлината се мени в пространството, като достига максимуми и минимуми, които се наричат *интерферентни ивици*. При вълни във фаза се получава максимум. Сумарната амплитуда при максимум се явява сумата от двете синфазни амплитуди.

Практически явлението *интерференция* се показва много ясно с експеримента на Thomas Young (английски учен, изследовател, философ и енциклопедист, 1773-1829 г.), който създава условия за генериране на два светлинни снопа с еднакви фази чрез разделянето на един светлинен сноп през два еднакви процепа по пътя на светлината.

Друго явление, което е свързано с вълновите свойства на светлината, е *дифракцията*. Най-общо, тя представлява процес на отклоняване на вълните при преминаване през намиращи се по пътя им обекти и е присъща на всички видове вълнообразни движения. Дифракционните картини се появяват в резултат на интерференцията на вълни, които изминават различни пътища при заобикаляне на обекти или при преминаване през отвори.

Фигура 1. Дифракция на ЕМВ:

а) дифракция от един отвор; б) разлика Δ в хода на лъчите, преминали през различни точки на отвора с ширина w .



Източник: Х. Фулър, Р. Фулър, Р. Фулър, 1988

Минимумите (гасящи двойки) от първи порядък се определят от условието:

$$\frac{w \cdot \sin \theta}{2} = \frac{\lambda}{2} \text{ от двете страни на централната}$$

светла ивица. Минимумите от по-висок порядък се получават при разлики в хода, равни на нечетен брой полувълни. Това общо условие за дифракционните минимуми при преминаването на светлината през тесен отвор може да се изрази като:

$$w \cdot \sin \theta = m \lambda ,$$

където $m = 1, 2, 3 \dots$ е порядъкът на минимум, w - ширината на отвора.

Не по-малко важна характеристика на светлинните вълни е *поляризацията* на ЕМВ. Това е общо свойство за всякакви електромагнитни вълни, както беше описано и по-горе при разглеждането на по-нискочестотните полета. От досега направените разсъждения е ясно, че само за напречни вълни са възможни трептения на амплитудата в равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение. Ориентацията на амплитудните трептения в равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение, се нарича направление на поляризацията. Тъй като светлинните вълни са напречни, то явлението поляризация е присъщо на светлината. В най-общ смисъл, светлинните източници излъчват ЕМВ с различна поляризация. Това означава, че векторът на електрическото поле трепти с произволна ориентация в равнина, перпендикулярна на посоката на разпространение.

За вектора на електрическото поле се дефинират три вида поляризация в равнината ху: плоска, елиптична и кръгова поляризация. За две прости хармонични трептения с еднаква честота и амплитуда, които са перпендикулярни едно на друго, може да се напишат следните правила:

1. Когато фазовата разлика е четно число π , се получава плоско поляризирана светлина на 45° спрямо двете начални трептения.
2. Когато фазовата разлика е нечетно число π , се получава плоско поляризирана светлина на 90° спрямо първия случай.
3. Когато фазовата разлика е нечетно число $\frac{\pi}{2}$ резултатът е кръгова поляризация.
4. Всякакви други фазови разлики водят до елиптична поляризация на вълната.

Естествената светлина се поляризира при пречупване, отражение и разсейване. Поляризираната светлина може да се получи чрез двойно пречупващи кристали, както е турмалинът, или чрез други поляризиращи материали с оптична ос. Всички трептения на падащата светлинна вълна ще затихват, освен тези, които са по оптичната ос на поляризатора. При това цялата светлина, освен по оптичната ос, ще бъде погълната. Падащата неполяризирана светлина напуска поляризатора като плоско поляризирана.

Поляризация на светлината може да се получи и при отражение. Като пример може да се представи усилването на поляризацията на слънчевата светлина при отражение от водна повърхност.

Светлината, разсеяна от малки частици, също така е селективно плоско поляризирана. Тази поляризация се вижда при наблюдение на небесния свод. Има данни, че пчелите използват поляризацията като един от методите за ориентирване към кошера.

Явлението *оптична активност на веществата* е открито от френския учен *Жан Бийо* (1815). Под *оптична активност* се разбира свойството на някои вещества или техни разтвори да въртят равнината на поляризация на преминала през тях светлина.

Причината, поради която някои вещества завъртят равнината на поляризацията, е наличие на асиметрия в техните молекули, т.е. те са хирални (от гр. - ръка – несъвпадение на дадена структура с нейното огледално отражение). В природата съществуват вещества, определящи два варианта на тази асиметрия,

наречени **оптични изомери**, въртящи равнината на поляризация съответно надясно - **дясновъртящи** (D-изомери), или наляво - **лявовъртящи** (L-изомери).

Тук е мястото да дефинираме и *оптичните лещи*. Те са оптични елементи с две работни повърхности, които пропускат и пречупват светлината съгласно законите за геометричната оптика. Тяхната форма и показателят на пречупване на материала, от който са изработени, определят хода на оптичното лъчение през тях. Лещите се делят на събирателни (фокусиращи - с положителен диоптър) и разсейвателни (афокални - с отрицателен диоптър). В зависимост от формата на повърхностите се разглеждат няколко групи лещи:

- събирателни лещи: двойно-изпъкнали (сечение между две сфери); плоско-изпъкнали (сечение на сфера с равнина); положителен мениск (вдлъбнато-изпъкнала).
- разсейвателни лещи: двойно-вдлъбнати (сечение на две сфери); плоско-вдлъбнати (сечение между сфера и равнина); отрицателен мениск (изпъкнало-вдлъбната).

За коригиращи очила най-често се използват менисковидни лещи.

Правата, преминаваща през центровете на двете сферични повърхнини, е главната оптична ос на лещата. След преминаване през лещата, успоредните на главната оптична ос лъчи, се пресичат във фокуса на системата. Реципрочната стойност на фокусното разстояние (изразено в метри) представлява оптичната сила на лещата $D=1/f$. Единицата за оптична сила е диоптър.

Много материали имат различни показатели на пречупване за различните плоскости на поляризация. Тази особеност води до различни скорости на разпространение на светлината в различните направления и се нарича *двойно лъчепречупване*. Някои кристали, като например калцитът, има свойство да е двойнопречупващ кристал. Поляризираната светлина има сериозно приложение за увеличаване на контраста при изследване на образци (поляризационни микроскопи).

Зависимостта на коефициента на пречупване от честотата (или от дължината на вълната) може да се използва за пространственото разделяне на лъчите на светлина с различна дължина на вълната (например бяла светлина). Например, това става при преминаване на бяла светлина през призма. Тази светлина се пречупва от призмата и излиза от нея под някакъв ъгъл, наречен ъгъл на девиацията, който е различен в зависимост от дължината на вълната. Така бялата светлина се разлага на различните си съставки, които имат съответни цветове: червен, оранжев, жълт, зелен, син, виолетов. Така се дефинират цветовете на дъгата, които се съдържат в бялата светлина на Слънцето, както и на изкуствени източници на бяла светлина.

Светлината взаимодейства с веществото, през което тя преминава, като фотонът може да се погълне, да се разсее или да премине през веществото. Част от падащите фотони превръщат своята енергия в механична енергия на частиците на веществото, като се увеличава неговата вътрешна енергия. Това е процесът на *поглъщане на светлината*. Друга част от светлинната енергия се изразходва за възбуждане на хармонични трептения във веществото, при взаимодействие на фотоните с гравитационните частици на обекта. Част от тези трептения са електромагнитни и се излъчват от веществото. Това лъчение се нарича *разсеяна светлина*.

При *разсейване на светлината* се получава отклонение на светлината от първоначалната ѝ посока на разпространение в различни, случайни посоки при взаимодействието си с веществото. Когато честотата/дължината на вълната на падащата и разсеяна светлина е една и съща, разсейването е еластично, а когато честотата на падащата се различава от тази на разсеяната, разсейването е нееластично. Теорията за разсейване на светлината е развита от английския физик *Джон Уилям Рейли (1842-1919)*.

В зависимост от средата/веществото и размера на частиците спрямо дължината на вълната на падащото лъчение се разглеждат:

Разсейване на Релей - еластично разсейване на светлината от много малки частици, съизмерими с дължината на вълната без промяна на дължината на вълната на лъчението. Описва се със закона на Релей: Интензитетът на разсеяната светлина е обратно пропорционален на четвъртата степен на дължината на вълната.

Разсейване на Тиндал - разсейване на светлината в нееднородни среди. Отнася се за случая, когато размерът на частиците е много по-малък от дължината на вълната. Характерен е за колоидните системи (например, хидроаерозоли, тютюнев дим и др.) с ниска концентрация на частиците, имащи различен показател на пречупване от този на средата.

Раманово разсейване - нееластично разсейване на оптичното излъчване в молекулни вещества, при което се получава значителна разлика в честотите/дължините на вълната на падналото и разсеяното лъчение.

Разсейването на синята част от спектъра на слънчевата светлина от атмосферата е причина за синия цвят на небето (в този случай става дума за разсейване на Релей). Когато Слънцето е ниско над хоризонта (при изгрев и залез) разпространяващите се от него лъчи изминават значително разстояние през долните по-плътни слоеве на атмосферата, където разсейването е по-силно, в резултат на което небето изглежда червено.

Лазерно лъчение. Лазерното лъчение е оптично лъчение с описаните по-горе честоти (дължини на вълните), но със специфични характеристики, които го отличават от оптичното полихроматично лъчение. Това са 3 основни качества на лазерното лъчение, а именно: монохроматичност, кохерентност и колимираност на лазерния сноп.

Монохроматичността се дефинира като специфично свойство на лазерното лъчение и представлява излъчване с извънредно малка ширина на спектралната линия. Като пример, дължината на вълната на He-Ne лазер е $\lambda=632,8$ nm, което показва до кой знак (до единични Å) може да се дефинира съответната дължина на вълната (мод) от лазерния източник.

Кохерентност. Кохерентността условно може да бъде разделена на два вида: пространствена и временна.

Ако разгледаме лазерното лъчение като електромагнитна вълна в две точки (B1) и (B2) по пътя на разпространението му и в тези две точки е налице нулева фазова разлика във фазите на ЕМВ, то говорим за пространствена кохерентност. В случай, че това условие е изпълнено за всеки две произволно избрани точки в снопа на лазерното лъчение, говорим за пълна пространствена кохерентност. В реалния случай съществува частична пространствена кохерентност, доколкото разстоянието между точките (B1) и (B2) е крайно.

Временната кохерентност обуславя временната фазова стабилност на лазерното лъчение. Смисълът ѝ се състои в това, че в произволно избрана точка (B) за интервала от време $t + \tau$, фазата на ЕМВ не се променя. Ако τ е безкрайно голямо, говорим за пълна временна кохерентност. На практика интервалът от време τ е крайна величина, така че е налице частична временна кохерентност.

Идеалният лазер от гледна точка на пълна кохерентност е непрекъснат лазер с една напречна и една надлъжна мода.

Колимираност на лазерния сноп. Лазерният сноп съдържа почти успореден сноп лъчи, с много малка разходимост. Това не се отнася до лазерните диоди или до лазерни системи с оптична система, която увеличава разходимостта на лъчението.

Колимираността на снопа позволява фокусирането му във фокалната равнина на лещата в много малко петно с радиус, близък до дължината на вълната на лъчението. Минималният ъгъл на разходимост се определя от дифракцията:

$$\theta = \chi \frac{\lambda}{d}, \quad (11)$$

където θ е ъгълът на разходимост, λ е дължината на вълната, d е диаметърът на изходната апертура на лазера. Ясно е, че с увеличаване на диаметъра, може да се получи минимална разходимост и намаляване на фокалното петно.

Други специфични характеристики на лазерното лъчение са пространствените и временните характеристики на лъчението, както и възможността за фокусировката му в малък размер, описано по-горе.

За да се излъчи лазерно лъчение, е необходимо да се осъществи т.нар. **стимулирана емисия**.

Съгласно законите на квантовата механика, енергетичното състояние на атома или молекулата може да се представи чрез дискретни енергетични нива. Основното ниво, т.е. нивото с най-ниска за конкретния атом или молекула енергия, се явява устойчиво ниво и естествено състояние на атома (молекулата) е да се намира на това ниво. Когато лъчение взаимодейства с веществото, се извършва преход от едно енергетично ниво на друго, по-високо енергетично ниво на атома (молекулата). Разликата между енергиите на двете нива се компенсира с излъчване (или поглъщане) на фотон, в зависимост от това дали атомът „прескача“ на по-високо или на по-ниско енергетично ниво:

$$E_2 - E_1 = \frac{hC}{\lambda}, \quad (12)$$

където E_1 и E_2 са съответните енергетични нива, при които се извършва преходът, h е константата на Планк, C е скоростта на ЕМВ (светлината), λ е дължината на вълната на фотона.

Възможни са три различни процеса на взаимодействие на лъчението с веществото в зависимост от участващите енергетични нива: флуоресценция, абсорбция и стимулирана емисия.

При процеса *флуоресценция* възбуденият атом, намиращ се на горно енергетично ниво, преминава спонтанно на долното енергетично ниво с енергия, в съответствие с (12).

При *абсорбция* фотон взаимодейства с атома (молекулата), намиращ се на долно енергетично ниво и го „излъчва“ на по-високо ниво. Това е възможно да се осъществи, само ако е изпълнено условието (12). В противен случай няма да се абсорбира фотонът.

Ако възбуденият атом (молекула), под действието на фотон с енергия, удовлетворяваща (12), премине на по-ниско енергетично ниво, в резултат на такова взаимодействие освен инициращият фотон се появява още един, енергетично идентичен на първия. Доколкото първоначалното лъчение присъства в крайния светлинен поток, то фактически се получава усилване на интензивността на падащата светлина.

За създаване на лазер е нужен материал с определени свойства – т.нар. **„активна среда“**. Лазерната активна среда трябва да притежава необходимите енергетични нива, за да се осъществи принуденото излъчване. За установяване на такива среди се прилагат спектроскопични методи за изследване. Изискване за материал с подходяща активна среда е той да притежава висока флуоресценция и тесни спектрални линии.

Ако в дадена материална среда с плътност на атомите N_1 и N_2 , намиращи се на съответни енергетични нива E_1 и E_2 , се разпространява светлинен поток с определена интензивност и се изпълнява равенството (12), ще настъпи процесът абсорбция. В нормално състояние на атомите броят на атомите във възбудено състояние е по-малък от тези, намиращи се на основното енергетично ниво.

Съгласно същото равенство, обаче, е налице и стимулирана емисия. Ако $N_2 > N_1$, т.е. броят на възбудените атоми е по-голям от тези, които са в основното състояние, интензивността на лъчението се усилва. Следователно, условието $N_2 > N_1$ е необходимо за работа на лазера и се нарича **„инверсна населеност“**. Инверсната населеност не е обичайното състояние на атомите (молекулите) и то трябва да се постигне изкуствено по някакъв начин.

Това изкуствено **„напомпване“** на активната среда може да се извърши чрез оптическа енергия (фотони) в среда, съдържаща само две енергетични нива – основно и по-високо, възбудено.

При системи с 3 нива инверсната населеност може да се постигне също чрез „оптично напомпване“, т.е. необходимата енергия се внася от външен източник. При това нивото 1

е основното енергетично ниво, ниво 3 е възбудено ниво с кратко „време на живот“ на атомите (т.е. бързо преминават на основното ниво – „изсветват“ се). Нивото 2 е с достатъчно голямо време на живот, за да се създаде необходимата инверсна населеност.

„Напомпването“, с което се цели достигане на условията за получаване на лазерно лъчение, се извършва със светлинен източник, в чийто спектър присъстват и фотони с енергия, удовлетворяваща равенството $E_3 - E_1 = h \frac{C}{\lambda}$.

Вследствие на абсорбцията атомите преминават на ниво 3. Чрез много бързи безизлъчвателни преходи, свързани с топлинните колебания на кристалната решетка, атомите преминават на ниво 2, което е своеобразно депо на атоми с енергия, по-висока от нормалната. След това настъпва стимулирана емисия между нива 2 и 1, в резултат от което се емитира лазерно лъчение с дължина на вълната, удовлетворяващо условието

$E_2 - E_1 = \frac{hC}{\lambda}$. Тъй като ниво 1 е и крайно за флуоресценцията (основно ниво), то за създаването на инверсна населеност е необходима голяма интензивност на напомпващото лъчение, за да се изпълни изискването $N_2 > N_1$.

При системи с 4 нива такова изискване по отношение на интензивността на напомпващото лъчение няма. Инверсната населеност при този вид системи се създава между нива 3 и 2. При достатъчно енергетично разстояние между нива 1 и 2 (голяма енергетична разлика), вероятността от термично заселване на енергетично ниво 2 е малка и условието се постига лесно.

На практика инверсната населеност се постига главно по три начина: оптическо напомпване, електронно възбуждане и резонансен пренос на енергия.

За светлинно напомпване като енергетични източници се използват импулсни газонапълнени лампи или лазер, излъчващ оптично лъчение с дължина на вълната, по-малка от енергетичния преход, който се осъществява при излъчването на основния лазерен източник. Осигурява се и възможност да се изменя

продължителността на излъчения импулс на напомпващата енергия.

Методът за получаване на инверсна населеност чрез пряко електронно възбуждане се характеризира с това, че електрон с енергия, удовлетворяваща равенството $E_{3,4} - E_1 = E_{\text{фот.}}$, се инжектира в лазерната активна среда. Сблъсквайки се с атомите, намиращи се в състояние E_2 , той отдава енергията си, вследствие на което атомите (молекулите) преминават във възбудено енергетично състояние. След това механизмът на лазерната генерация се задейства по класическа схема. Типичен пример на подобен механизъм за получаване на инверсна населеност е електрическият разряд в газова среда. Емитираните от катода електрони, след като попаднат в полето между катода и анода, ускоряват движението си към анода. По пътя си те срещат атомите (молекулите) на газа и при подходящ подбор на активната среда е възможно създаването на инверсна населеност за сметка на преобразуването на кинетичната енергия на електроните в енергия на възбуждане на атомите (молекулите).

Резонансният пренос на енергия за създаване на инверсна населеност се използва при газови активни среди. На практика, прякото електронно възбуждане е трудно реализуемо поради необходимостта от едновременно изпълнение на редица изисквания: подходяща енергия на електрона, голямо сечение за предаване на енергията, подходяща скорост на обезселване на нивата. Ако в газова смес от газ А и газ Б пряко, чрез електронно възбуждане, се активира газ А (като е изпълнено неравенството $E_A > E_B$), в процеса на стълкновение между молекулите на двата газа, намиращият се във възбудено състояние газ А отдава енергията си на газ Б, който на свой ред преминава във възбудено състояние. Конкретен пример за подобна система е системата $N_2 - CO_2$. Молекулите на азота се възбуждат пряко, отдават енергията си на възбуждане на молекулите CO_2 , които реализират лазерния ефект.

Едно от условията, обезпечаващи работата на лазера, е създаването на определена геометрична структура, наречена **резонатор**.

Лазерната активна среда се помества между две плоски огледала, едното от които е полупропускливо. Ако приемем, че за създаване на инверсна населеност използваме оптичен метод за напомпване, а активната среда е твърдотелно вещество – например рубин, за да се обезпечи резонанс е необходимо между огледалата да се помести цяло

число полуълни $\frac{\lambda}{2}$, т.е. да бъде изпълнено

условието $q \frac{\lambda}{2} = d$, където d е разстоянието

между огледалата. Обикновено съществуват множество дължини на вълната, осигуряващи изпълнението на горното условие. Тези вълни се наричат надлъжни моди на резонатора и са разположени със стъпка $\frac{\lambda^2}{d}$, наречена

междумодово разстояние. Лазерен ефект възниква само на тези надлъжни моди, които са разположени в пределите на линията на флуоресценция.

Тъй като лазерната активна среда е разположена между двете огледала, то първоначално излъчената светлина многократно се отразява в огледалата. Така, за сметка на стимулираната емисия, тя многократно увеличава интензивността си.

Възбудените атоми в активната среда изпускат флуоресцентно лъчение. Част от флуоресцентните фотони се излъчват под такъв ъгъл, че напускат лазерната активна среда. Тази част от лъчението, която се разпространява успоредно на надлъжната ос на активната среда, се усилва вследствие на стимулирана емисия. Част от усиленото лъчение напуска лазерната активна среда, излизайки през полупропускливото огледало на резонатора и по този начин се явява полезно излъчване. В крайна сметка в резонатора започва да се разпространява лъчение, успоредно на оста му. В резултат, на изхода на резонатора се генерира колимиран монохроматичен сноп светлина.

На практика използването на плоски огледала за създаването на резонатор е невъзможно, поради изискванията за точна ъглова юстировка и поради тази причина се използ-

ват различни комбинации от сферични или плоски и сферични огледала. Целта е да се получи максимално запълване на обема на активната среда, при достатъчно висока стабилност на резонатора, т.е. да се обезпечи възможността максимален брой фотони да се отразят многократно между успоредните огледала, преди да напуснат резонатора. В практиката най-често се прилагат т.нар. нестабилни резонатори с геометрична конфигурация, в която се осигурява умишлено извеждането на светлината при управление на отраженията в тях. При това се управлява и коефициентът на усилване при мощни лазери, например лазери на CO_2 .

ГЛАВА 6

Приемане на електромагнитни вълни. Видове приемни антени. Принцип на обратимост. Характеристики на излъчващите и на приемните антени

Приемане на електромагнитни вълни. Когато поставим едно тяло в ЕМП, полето въздейства върху заредените частици в тялото. Степента и характерът на това въздействие ще зависи не само от електрическите и магнитни характеристики на тялото, но също и от енергетичните и времеви характеристиките на полето, от разположението на тялото спрямо силовите линии на електрическото и магнитното поле. В случаите, когато в тялото има свободни заряди (проводник), то те ще се ориентират в зависимост от силовите линии на двете компоненти на ЕМП. Нека припомним, че електрическото поле действа на зарядите със сила, пропорционална на интензитета на полето и на количеството на заряда, докато магнитното поле действа със сила, която е пропорционална на произведението на заряда с векторното произведение на скоростта на движението им и интензитета на магнитното поле. Това в най-общ смисъл означава, че електрическото поле въздейства върху наелектризираните частици (заряди) във всички случаи, докато магнитното – само ако те са в движение.

Като резултат, ако метално тяло бъде поставено в ЕМП, движението на електрически заредените частици в тялото ще създаде ток на проводимост, който от своя страна също ще генерира собствено ЕМП в пространството около него. Това поле ще деформира „падащото“ ЕМП, тъй като двете полета ще си взаимодействат в пространството.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вредни действия на електричеството и защита от тях, под ред. На проф. Г. Анев, изд. „Техника“, София, 1987.
2. Иванов Ст. – Излъчване и разпространение на електромагнитните вълни, Унив. изд. „Св. Кл. Охридски“, София, 2004.
3. Приложение на лазерите в клиничната практика, под ред. на доц. В. Танев, изд. „Мед. и физк.“, София, 1988.
4. Тодоров В. – Медицинска физика. Учебник за студенти по медицина и стоматология, София, 2002.
5. Фулър Х., Р. Фулър, Р. Фулър – Физиката в живота на човека, изд. „Наука и изкуство“, С., 1988
6. Шинев Хр. – Антени, изд. „Техника“, София, 1968.
7. Шинев Х., Е. Алтимирски - Разпространение на електромагнитните вълни, „Техника“, София, 1977.

Ако тялото, поставено в ЕМП е диелектрик, се наблюдава подобно явление, въпреки че в него няма свободни електрически заряди. Под действие на външното ЕМП, диполите в диелектрика се ориентират по силовите линии на падащото ЕМП, в зависимост от честотата му. Поляризирането на диполите води до възникването на поляризационен ток, който създава собствено ЕМП, което взаимодейства с падащото поле в пространството и го деформира.

Вторичното поле, създавано около тялото (независимо дали е проводник или диелектрик), в пространството, където се генерира ЕМП, е за сметка на енергията на падащото поле. При това става ясно, че както метално, така и диелектрично тяло могат да послужат за приемане на ЕМВ, т.е. да се използват за приемна антена. Необходимо е само възбудените в тялото токове да се отведат към измервателен уред и да бъдат преработени с цел оценка на получената информация.

При най-просто разглеждане на приемните антени, се прилага теорията на приемане на „елементарен електрически дипол“, „плоска електрическа рамка“, и по-сложните случаи на „симетричен вибратор“ и „феромагнитен вибратор“ в плоско ЕМП.

Тук ще обърнем внимание само на някои най-прости изрази, които водят съответно до теоретични разсъждения и описание на физическите параметри при приемане на ЕМВ от антени с различна конфигурация.

1. Елементарен електрически дипол в плоска ЕМВ. Симетричен вибратор

В случай, когато елементарен електрически дипол (дефиниран по-горе в глава 5) бъде поставен в плоска ЕМВ и векторът на Пойнтинг сключва с оста на дипола ъгъл, то индуцираното електродвижещо напрежение в елементарния вибратор под действие на външното поле ще има израз:

$$de = E \sin \theta \cdot dz, \quad (1)$$

където E е интензитетът на електрическото поле в непосредствена близост до вибратора (дипола), θ е ъгълът, който сключва векторът на Пойнтинг на мястото на елемента dz от при-

емната антена с оста на елемента.

Общото индуцирано електродвижещо напрежение, т.е. това, което може да се измери между двата края на дипола, се определя от израз:

$$U_A = \int_0^l E \sin \theta \cdot dz. \quad (2)$$

Тук l е линейният размер на антената. Важно заключение от горните разсъждения е фактът, че диаграмата на излъчване на елементарния електрически дипол в пространството е същата (съвпада) с диаграмата на приемане. В случая, под „диаграма на излъчване/приемане“ се разбира функцията $F(\theta) = E \sin \theta$. Елементарният електрически вибратор не излъчва/приема при $\theta = 0$ и излъчва/приема максимално при $\theta = \pi/2$, т.е. за тази посока на силовите линии на полето индуцираното напрежение (в приемната антена) е максимално.

Ако приемем, че на двата края на вибратора (на клемите на приемната антена) е включен импеданс Z_H - входният импеданс на приемника, разглеждан като товар на вибратора, ефективната стойност на тока ще бъде

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A + Z_H}, \quad (3)$$

където Z_A е пълният импеданс на антената, т.е. импедансът на излъчване на вибратора с включен импедансът на загубите. Ако пренебрегнем загубите, тогава $Z_A = Z_H$ и като приложим уравнение (2), може да се запише:

$$I_A = \frac{El \sin \theta}{Z_H + 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2}. \quad (4)$$

Максималната мощност на приемане на елементарния електрически вибратор със съпротивление на излъчване R_Σ е следната:

$$P_A = \frac{U_A^2}{4R_\Sigma} = \frac{E^2 l^2}{4 \cdot 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2} \approx \frac{E^2 \cdot \lambda^2}{3200}. \quad (5)$$

Формула (5) показва, че излъчената от антената мощност представлява мощността на един съгласуван електрически вибратор, зависеща само от стойността на интензитета на полето и от дължината на вълната.

Ако вместо елементарен електрически дипол разглеждаме реален симетричен вибратор, т.е. симетричен дипол с линеен размер $2l$, съизмерим с дължината на вълната, то индуцираното напрежение по протежение на вибратора е:

$$de = E \sin \theta \cdot e^{jkx \cos \theta} dx. \quad (6)$$

Индуцираното електродвижещо напрежение става:

$$u = \frac{E \cdot \lambda}{\pi \sin kl} \cdot \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos kl}{\sin \theta} = \frac{E \lambda}{\pi \sin kl} \cdot F(\theta) \quad (7)$$

Чисто активната отдадена от антената мощност на входа на приемника при пълно съгласуване, т.е. равенство на реалните части на товарните съпротивления $R_{ex} = R_H$ и равенство с противоположен знак на имагинерните части на товара $X_{ex} = -X_H$, добива следния вид:

$$P_H = P_{акт} = \frac{E^2 \lambda^2 F^2(\theta)}{8\pi^2 R_{ex} \sin^2 kl}. \quad (8)$$

От (8) е ясно, че на входа на приемника се подава част от приетата електромагнитна енергия (например не повече от 50%), а останалата част от мощността ще създаде вторично поле, което ще се излъчи в пространството.

За приемните антени се въвежда параметърът „ефективна дължина на антената“, която

се определя от съотношението $l_e = \frac{u}{E}$ и за случая на симетричен електрически вибратор:

$$l_e = \frac{u}{E} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \frac{1 - \cos kl}{\sin kl} = \frac{\lambda}{\pi} \operatorname{tg} \frac{kl}{2}. \quad (9)$$

Ефективната дължина нараства при по-дългите вълни и е строго зависима от съотношението

$$\frac{l}{\lambda}.$$

2. Плоска електрическа рамка в плоско ЕМП. Феромагнитен вибратор

В най-простия случай се разглежда правоъгълна рамка или правоъгълна рамкова антена. При теоретичните обсъждания рамката може да се представя като два отделни успоредни проводника, през които в плоско ЕМП протичат токове, дефазирани под ъгъл π , т.е. на 180° . В общия случай, рамковата антена представлява рамка с една или няколко намотки. Антената може да се завъртвя както спрямо вертикалната ос в равнината на рамката и успоредна на противоположните намотки, така и спрямо хоризонталната ос.

При поставяне на рамката вертикално спрямо земната повърхност, ако приемем, че ъгълът, който сключва проекцията на вектора на Пойнтинг с линията, съединяваща двата вертикални проводника, е φ , ъгълът на падане на ЕМВ към равнината на рамката е θ , а ъгълът на поляризацията на вълната е γ , то за диаграмата на насоченост на антената F_{1-3} спрямо вертикално поляризираната компонента на полето може да се напише следното равенство:

$$F_{1-3} = \cos \gamma \cos \theta \sin \left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta \cos \varphi \right) \quad (10)$$

При малки размери на антената и по-специално условието размерът на рамката $d \ll \lambda$,

$$F_{1-3} = \frac{\pi d}{\lambda} \cos^2 \theta \cos \varphi \cos \gamma. \quad (11)$$

По подобен начин може да се определи диаграмата на насоченост от хоризонталните проводници на рамката:

$$F_{2-4} = \frac{\pi h}{\lambda} \sin^2 \theta \cos \varphi \cos \gamma. \quad (12)$$

При квадратна рамка с размери $d=h$, най-общо диаграмата на насоченост е:

$$F_v = \cos \varphi \cos \gamma. \quad (13)$$

Аналогично се определя диаграмата на насоченост за хоризонтално поляризираната компонента на електромагнитното поле $E \sin \gamma$:

$$F_h = \sin \theta \sin \varphi \sin \gamma. \quad (14)$$

Общо за рамката диаграмата се определя от следната зависимост:

$$F = \cos \varphi \cos \gamma + \sin \theta \sin \varphi \sin \gamma. \quad (15)$$

В най-често срещания случай ъгълът $\gamma = 0$. Това е случай, когато ЕМВ е вертикално поляризирана, а характеристиката на приемане в хоризонталната равнина представлява две окръжности. Вертикалната характеристика на приемане (при $\varphi=0$) също представлява окръжност, а в равнината $\varphi = \frac{\pi}{2}$ приемането

е нула, независимо от стойността на ъгъла на възвишението θ . В тази равнина рамковата антена практически има остро изразен минимум на приемане.

В другия граничен случай, когато $\gamma = \frac{\pi}{2}$, т.е. имаме хоризонтално поляризирано поле, вертикалната характеристика в равнината, перпендикулярна на плоскостта на рамката, както и хоризонталната равнина, са също две окръжности, като стойности нула на приемане се получават при $\theta=0$ и $\theta=\pi$.

В най-общия случай, когато рамката не е квадратна, т.е. $h \neq d$, диаграмата на насоченост може да се запише по следния начин:

$$F = \cos \varphi \cos \gamma (d^2 \cos^2 \theta + h^2 \sin^2 \theta) + h^2 \sin \theta \sin \varphi \sin \gamma \quad (16)$$

Всички разглеждания дотук се отнасят до рамка с една навивка. В случаите, когато намотките на рамката са N , а S е площта на рамката, поставена в плоско ЕМВ, индуцираното напрежение в рамката може да се определи по следния начин:

$$u = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (17)$$

В (17) Φ е магнитният поток през площта на рамката и се определя от:

$$\Phi = \mu HS = \mu HS \sin \varphi \cdot e^{j\alpha t} \quad (18)$$

Зависимостта (17) за интензитета на електрическото поле се превръща в следното:

$$u = -j \frac{2\pi SN}{\lambda} E \sin \varphi \quad (19)$$

Ефективната дължина на приемане на магнитната рамка (често се нарича „ефективна височина“) се определя от равенството:

$$l_e = \frac{u}{E} = \frac{2\pi SN}{\lambda} \quad (20)$$

Както се вижда от зависимостта (20), ефективната дължина зависи право пропорционално от броя на намотките, от площта на рамката, както и нараства при по-висока честота на ЕМП (по-къса дължина на вълната).

В случай, че вместо рамка използваме феритна антена, т.е. намотките се навиват върху сърцевина с магнитна проницаемост, различна от единица, то ефективната дължина на антената се променя по следния начин:

$$l_e = \frac{u}{E} = \frac{2\pi SN}{\lambda} \cdot \mu' \quad (21)$$

Тук μ' е относителната магнитна константа на сърцевината.

3. Принцип на обратимост.

Принципът на обратимост е известен в теорията на четириполюсниците. Същият принцип може да се приложи успешно при една система антени – предавателна и приемна, въпреки че те са с големи (реални) размери. Четирите клеми при антените са двете на входа на предавателната антена и другите две – на входа на приемната антена. Импедансите на четириполюсника са съответно входните импеданси на излъчващата и на приемната антени от една страна, и характеристичният импеданс на средата, от друга. При това, ако дефинираме с u_1 и u_2 съответно входните напрежения на предавателната и приемната антена, а с I_{21} и I_{12} отбележим токовете на клемите на втората и първата антени, законът (принципът) за обратимостта ще изглежда по следния начин:

$$\frac{u_1}{I_{21}} = \frac{u_2}{I_{12}} \quad (22)$$

В (22) I_{21} представлява токът, който протича през клемите на първата антена благодарение на това, че на нейното място има ЕМП, създадено от тока I_{12} на втората антена, и обратно.

По-нататъшните разсъждения водят до факта, че за всяка антена (излъчваща или приемна) за тока може да се напише следното равенство:

$$I = E \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{GR_z}{120}} \cdot \frac{\sin \theta}{Z + Z_H} \quad (23)$$

Тук G е коефициентът на насочено действие на антената, R_z е съпротивлението на излъчване.

Така че принципът на обратимост води до следните заключения по отношение на характеристиките на антените, независимо дали те са излъчващи или приемни:

- 1) Характеристиките на насоченост на една антена са едни и същи и не зависят от това дали тя ще бъде разглеждана като приемна или като предавателна антена при условие, че приемникът, респективно предавателят, са включени на едно и също място.
- 2) Всяка приемна антена с дължина, много по-малка от дължината на вълната, може да се разглежда като генератор с електродвижещо напрежение:

$$u = \frac{E\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{GR_z}{120}} \sin \theta \quad (24)$$

с вътрешно съпротивление Z и натоварен с импеданс Z_H .

- 3) Ефективната дължина на антената може да се определи от израза:

$$l_e = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{GR_z}{120}} \sin \theta \quad (25)$$

- 4) Коефициентът на полезно действие на приемната антена не може да е равен на единица, тъй като тогава тя би излъчила цялата приета енергия обратно.
- 5) Приемната и предавателната антена са обратими, т.е. всяка една предавателна антена може да бъде приемна и обратно.

4. Параметри на приемните антени

Както видяхме по-горе, приемните антени могат да бъдат разглеждани като предавателни и обратно, в зависимост от това за какви цели се използват. При това е ясно, че почти всички характеристики на антените са общи, независимо от това дали те се използват за приемни, или за предавателни. Тук ще разгледаме **най-важните характеристики** като параметри на приемните антени, тъй като те ще са ни

необходими за описанието на измервателните уреди в следващите раздели:

Коефициент на насочено действие ($K_{нд}$)

Коефициентът на насочено действие ($K_{нд}$) се определя от отношението на мощностите на излъчване на насочена и ненасочена антени, създаващи в даденото направление на едно и също разстояние еднакви стойности на полето. По такъв начин $K_{нд}$ показва каква енергетическа ефективност осигурява използването на насочена антена, в сравнение с ненасочената антена.

Всъщност, $K_{нд}$ представлява отношението на потока мощност в единица телесен ъгъл в дадено направление към средния поток на мощността в единица телесен ъгъл, излъчван от антената.

При дефиниране на $K_{нд}$ **за приемна антена**, тъй като мощността може да се определи чрез квадрата на напрежението, то този коефициент може да се дефинира като отношение между квадрата на напрежението при насочена антена, което се установява на входа на приемника, към квадрата на напрежението, което се установява на входа на антената при условие, че тя не е насочена:

$$G = \frac{u^2}{u_{ave}^2} \quad (26)$$

Дефиниран като отношение на мощностите, поради пропорционалността между мощността, подадена на приемника, и квадрата на напрежението на входа, зависимостта става следната:

$$G = \frac{P}{P_{ave}} \quad (27)$$

Тук P е мощността, подадена на входа на приемника при приемане от дадено направление, а P_{ave} е мощността, подадена на входа на приемника при равномерно приемане от всички посоки на пространството.

Коефициент на усилване на антената

Коефициентът на усилване се различава от коефициента на насочено действие по това, че за еталонна антена се приема не която и да

е фиктивна антена, а полуълнов симетричен вибратор. По дефиниция, коефициентът на усилване ε на една антена в дадено направление, се нарича отношението между квадрата на интензитета на полето, създадена от антената в това направление E_{θ}^2 , и квадрата на интензитета на полето в екваториалната плоскост на полуълновия вибратор $E_{\lambda/2}$:

$$\varepsilon = \frac{E_{\theta}^2}{E_{\lambda/2}^2} \quad (28)$$

Тук условията са следните:

- мощностите, подадени на антената и на полуълновия вибратор имат една и съща големина;
- полуълновият вибратор се намира в свободно пространство;
- коефициентът на полезно действие на полуълновия вибратор е равен на единица.

Коефициентът на усилване на приемна антена може да се дефинира по подобен начин по отношение на полуълнов вибратор, като отношението се отнася не до интензитетите на излъченото ЕМП, а до напрежението на входа на приемника:

$$\varepsilon = \frac{u^2}{u_{\lambda/2}^2} \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{P}{P_{\lambda/2}} \quad (29)$$

В тези зависимости:

- ε е коефициентът на усилване на приемната антена;
- u е напрежението на входа на приемника при приемане с изследваната антена;
- $u_{\lambda/2}$ е напрежението на входа на приемника при приемане с полуълнов вибратор;
- $P_{\lambda/2}$ е мощността на входа на приемника при приемане с полуълнов вибратор.

Равенствата (29) са изпълнени при следните условия:

- интензитетът на полето при приемане с антената и с полуълновия вибратор е един и същ;
- полуълновият вибратор се намира в свободно пространство;
- полуълновият вибратор и антената са оптимално съгласувани с приемника;
- полуълновият вибратор приема в посока на максимално приемане, т.е. в екваториалната равнина.

Коефициент на полезно действие (КПД)

КПД се определя от отношението на излъчената мощност P_{Σ} към пълната мощност, подадена към антената $P_a = P_{\Sigma} + P_n$, т.е.

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_{\Sigma} + P_n} = \frac{R_{\Sigma}}{R_{\Sigma} + R_n} \quad (30)$$

където P_n е мощността на топлинните загуби.

При приемните антени, КПД се дефинира по същия начин, както при предавателните антени, а именно като отношение между излъчената от антената мощност, ако тя беше излъчителна, към подадената ѝ пълна мощност:

$$\eta = \frac{P_{\Sigma}}{P_a} \quad (31)$$

При тази дефиниция е ясно, че изискването към приемните антени е коефициентът на полезно действие да е минимален, с цел да се намали до минимум излъчването от антената.

Други **не по-малко важни характеристики на антените**, които са свързани с приемането на ЕМВ, са следните:

Ефективна площ на антената (S_{eff}) – характеризира площта, през която приемната антена съсредоточава енергията: $S_{\text{eff}} = K_s S$, където $K_s < 1$ е коефициент на използване на повърхността на апертурата; S – повърхността на апертурата на антената;

Поляризационна характеристика (изотропност/анизотропност) – това е зависимостта на амплитудата на сигнала в приемна антена с линейна поляризация, приемаща

ЕМВ от определена предавателна антена, от ъгъла на завъртане на тази антена в плоскостта, перпендикулярна на излъчването. Поляризационната характеристика се определя от вида на поляризация на вълната, която бива линейна, кръгова и елиптична;

Входно съпротивление/импеданс на антената Z_A е еквивалентна величина, която определя съгласуването на антената с приемния (напр. СВЧ) тракт. В общия случай входното съпротивление е комплексна величина;

Работен честотен диапазон на антената – характеризира се с интервала от честоти f_{max} до f_{min} , в който стойността на всички параметри на антената не надвишават пределите на зададените стойности. Като правило критерий за определяне на честотния работен диапазон е входното съпротивление.

По-рано дефинирахме и други параметри, които ще използваме по-нататък при изложението, като „излъчена/приемана мощност“, „съпротивление“ на антената, „ефективна дължина/височина“ на антената.

ГЛАВА 7

Специфика на взаимодействията на нейонизиращите лъчения с биологичните организми. Разпространение, „универсалност“, комплексност на въздействието като „присъщи“ на биосферата фактори на средата

Както стана дума в Глава 3, електромагнитните взаимодействия са в основата на всички взаимодействия в природата. При това е ясно, че е изключително важно да се установи дали външните електромагнитни лъчения могат да повлияят вътрешните (в организма) токове и полета и как падащата електромагнитна енергия върху човека взаимодейства с биологичните среди.

Същата Глава 3 съдържа основните решения на уравненията на Максвел, и то за различни среди на взаимодействие. Ясно се вижда, че ЕМВ силно променя своите свойства при преминаване през различни среди със съответни електрически и магнитни характеристики. Променят се както дължината на вълната в средата спрямо тази във вакуум (въздух), така и скоростта на разпространение. Самите характеристики на средите от друга страна силно зависят от честотата на падащата ЕМВ.

Когато говорим за биологичните тъкани, те също имат свои електрически и магнитни характеристики, от които зависят параметрите на погълнатата електромагнитна енергия. Например, доскоро се считаше, че човекът е „прозрачен“ за нискочестотните магнитни по-

ЛИТЕРАТУРА

1. Вредни действия на електричеството и защитата от тях, под ред. На проф. Г. Анев, изд. „Техника“, София, 1987.
2. Иванов Ст. – Излъчване и разпространение на електромагнитните вълни, Унив. изд. „Св. Кл. Охридски“, София, 2004.
3. Шинев Хр. – Антени, изд. „Техника“, София, 1968.
4. Шинев Х., Е. Алтимирски - Разпространение на електромагнитните вълни, изд. „Техника“, София, 1977.

лета, тъй като магнитната проникваемост на меките тъкани е $\mu \approx 1$, каквато е и за вакуум/въздух. Това, обаче, не е точно така. Причината е, че в организма има достатъчно „магнитни материали“ или полета/сили, с които външното магнитно поле може да взаимодейства. Като основен принцип, магнитното поле въздейства на движещи се заряди. Такива, например, са всички елементи на кръвта. Освен това, ако разгледаме хемоглобина в еритроцитите, то той съдържа желязни йони, което означава, че в движещите се еритроцити има електрически заряди с по-висока магнитна проникваемост от тази на въздуха. Друг факт е, че всички атоми имат парамагнитни свойства, като електроните притежават орбитален магнитен момент, а ядрото на атомите имат собствен магнитен спин, върху които външното магнитно поле може да действа. Външното магнитно поле взаимодейства с атомите в биологичния обект, които проявяват своите парамагнитни свойства, включително резонансни – известни са теоретичните пресмятания за възможен електронен парамагнитен резонанс, ядрено-магнитен резонанс и други. От макроскопична гледна точка, биологичните обекти са много слаби диа- и парамагнити, близки по свойства на въздушната среда.

При разглеждане на взаимодействието на ЕМВ с биологичните обекти могат да се използват различни параметри, но най-подходящи са **коефициентът на отслабване в тъканта $\alpha(\omega)$** , който е функция на честотата на ЕМВ. Коефициентът на отслабване се изразява като функция на комплексната диелектрична константа на тъканта ϵ_r , която зависи от вида на биологичната тъкан, а също и от честотата на ЕМВ. Друг параметър, който може да се използва за описание на електромагнитното взаимодействие с биологичните тъкани, е **специфичната проводимост на тъканите $\sigma(\omega)$** , също зависима от честотата на ЕМВ.

При прилагане на постоянно електрическо поле върху биологична тъкан, тя се поляризира и тъй като мембраните на клетките са добри изолатори при постоянно напрежение, то йонните токове протичат само в екстрацелуларната течност (в междуклетъчното пространство).

При ниски честоти (до около 10 kHz) периодът на вълната е достатъчно голям (промените са бавни) и няма достатъчно време мембраните на клетките да се презареждат от йоните в клетката и извън нея. Поради това специфичната йонна проводимост σ е малка, а диелектричната константа ϵ_r – голяма.

С нарастването на честотата, специфичната проводимост σ нараства за сметка на намаляването на капацитивното съпротивление на мембраните. При това вътреклетъчната течност се въвлича в процеса на образуване на йонните токове, поради непълното презареждане на клетъчните мембрани. При този процес диелектричната константа ϵ_r намалява. Основният механизъм на така наречената **α -дисперсия** при тези честоти се явява релаксацията на йоните, с обратен заряд на този на клетъчните мембрани.

При по-високи честоти (все още в нискочестотния обхват) – 10 до 100 kHz, се наблюдава скокообразно нарастване на специфичната проводимост σ и едновременно с това - намаляване на диелектричната константа ϵ_r . Причина за това е лавинното въвличане на вътреклетъчната течност в образуването на йонните токове.

Мембраните по-слабо се зареждат при честоти 10^5 – 10^7 Hz (100 kHz–10 MHz) и капацитивното съпротивление на биологичните тъкани намалява. В този честотен обхват цялото съдържание на клетката се включва в образуването на йонните токове. При това σ нараства плавно, а ϵ_r намалява. Това води до нарастване на общия ток в тъканта. При тези честоти е характерна **β -дисперсията**, която се обуславя от нехомогенните клетъчни структури в биологичната тъкан.

При честоти над 10^8 Hz (100 MHz) клетката може да се счита електрически съединена накъсо поради много малкото съпротивление на мембраната. При тези честоти преобладават главно ефектите на поляризация на молекулите и на поляризационния ток. Тук са възможни резонансни явления с молекулите на водата (хидратирани и свободни), с белтъчните молекули на кръвта, поради факта, че характеристичните честоти на тези молекули са равни или по-ниски от тези на приложеното ЕМП.

Така наречената **δ -дисперсия**, характерна за честоти от 300 до 2000 MHz и все още с неизяснен произход се счита, че се дължи на ротацията на страничните групи на белтъчните молекули, а също и релаксацията на свързаната в белтъчните молекули вода.

Водните молекули са в основата и на **γ -дисперсията** при честоти около 10 GHz.

Дисперсните характеристики на някои биологични съставки са представени в таблица 3, а зависимостите на диелектричната константа ϵ_r и специфичната проводимост σ на биологичните среди от честотата на ЕМП – на фиг. 2.

В процесите на взаимодействие на ЕМВ с биологичните тъкани голяма роля играят клетъчните мембрани. При дебелина на мембраните 50-100 Å (5-10 μ m) се образува потенциална разлика (т.нар. „дифузен потенциал на Нернст“) до 0,1 V, което води до интензитет на полето в този малък обем от порядъка на 100 kV/cm. От друга страна, самата структура на мембраните не позволява да се извършват пресмятания на електрическите токове и потенциали в разглежданата област чрез законите на Ом, Кирхоф и други закони на електротехниката. Самото поглъщане на електромагнитната енергия може да се извърши както на повърхността на клетъчната мембрана (вследствие намаляване на проводимостта), така и в самата мембрана (в резултат на електрическите загуби). Тези механизми на микроразпределение на погълнатата енергия не влияят на макроскопичните диелектрични свойства на тъканта.

Пълната диелектрична проникваемост и специфичната проводимост се променят забележимо при малки изменения на **водното съдържание** – диелектричната константа и проводимостта на водата са значително по-големи от тези на маснатата или костната тъкан. Освен това, тези две характеристики на тъканите имат и **температурна зависимост**. Например при 900 MHz измененията на диелектричната проникваемост и на специфичната проводимост са съответно -0,2%/°C и 1%/°C. Тези температурни зависимости имат значение при облъчване на биологичните тъкани с радиочестотни и микровълнови ЕМП (при честоти над 100 kHz до 6 GHz), където тер-

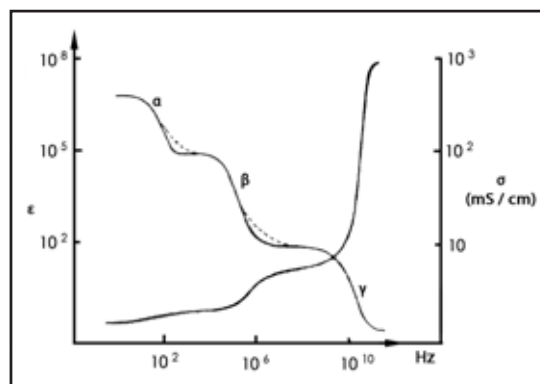
мичният ефект от въздействие на погълнатата електромагнитна енергия играе основна роля при оценка на въздействието.

В заключение може да се изтъкне, че електрическите свойства на тъканите и други биологични системи не дават възможност за описание на разпределението на ЕМП вътре в тях, но позволяват да се получи информация за самото въздействие на ЕМП на биофизично ниво.

Таблица 3. Дисперсни характеристики на някои биологични съставки

№	Биологична среда	Дисперсна характеристика
1.	Електролит	γ
2.	Биологични макромолекули - белтъци - аминокиселини - нуклеинови киселини	$\beta + \delta + \gamma$ $\delta + \gamma$ $\alpha + \beta + \delta + \gamma$
3.	Клетки - електрически заредени частици - възбудени мембрани	$\alpha + \beta + \gamma$ $\alpha + \beta + \gamma$

Фиг. 2. Честотни зависимости на диелектричната проникваемост и на специфичната проводимост на биологичните тъкани



Източник: Schwan H., NCRPM, USA, 1987

Специфика на оценката на нейонизиращите лъчения като фактори на средата

Преди всичко, нейонизиращите лъчения са „универсални“ фактори на средата. Това твърдение се потвърждава от факти, свързани с всестраниното разпространение на тези фактори в средата на обитаване и труд на човека. Няма място в природата, в което да не съществуват различни НЙЛ (от различен честотен обхват, както и с различни интензитети).

Навсякъде по земната повърхност действа *постоянното магнитно поле на Земята*. То е различно в зависимост от географските координати, както и поради аномалии, свързани с наличие на залежи от желязна руда в определени географски области, но в цитирания смисъл това е универсален фактор на средата.

Същото се отнася и до *електростатичното поле*, което е с вектор, насочен към повърхността на земята и е с променливи стойности в зависимост от атмосферните условия.

Радиочестотни сигнали „пристигат“ до земната повърхност, предизвикани от различни процеси в Космоса и звездите, включително нашето Слънце.

Целият спектър на *оптичните лъчения* (УВ, видима светлина, ИЧ лъчение) се съдържа в слънчевата светлина. Ясно е, че отново може да се твърди, че това са универсални фактори на средата.

Изкуствените източници на НЙЛ също имат универсален характер по отношение на тяхното присъствие в живота на човека. Няма технология, съоръжение, продукт, използващ електрически ток, който да не излъчва някакъв вид електромагнитно лъчение.

Електрическото захранване в домовете излъчва *магнитно поле с промишлена честота 50 Hz*; същото се отнася до всички битови електрически уреди, особено тези, притежаващи електромотор. Електрическият транспорт създава също магнитно поле (постоянно и променливо), в зависимост от използваната технология на движението им. Телевизорът и видеомониторът излъчват *свръхнискочестотни и радиочестотни полета*, а микровълновата фурна, безжичният телефон и GSM-апарата – *свръхви-*

сокочестотно (микровълново) лъчение. Осветителните тела създават *оптично лъчение* при тяхното светене, както и ЕМП в зависимост от тяхното захранване.

В работната среда почти всяка технология и съоръжение е източник на някакво електромагнитно лъчение. Приложението на ЕМП в индустрията ще бъде обсъдено по-подробно в следващите раздели.

Не на последно място, във всеки офис или във всяко жилище има достатъчно много синтетични материали и повърхности, които задържат *електростатични заряди* по повърхността си.

Освен че са универсални по тяхното разпространение и приложение, нейонизиращите лъчения са „присъщи“ фактори на средата, също и на биосферата, и като такива те са „отговорни“ за развитието на видовете. Немислимо е съществуването на живите организми без наличието на светлинни, топлинни лъчения, без магнитното поле на Земята, без електростатичното поле, което е част от характеристиките на атмосферата. Освен това цялата еволюция на видовете е преминала в присъствието и промените на тези фактори, както и при наличието на електромагнитни лъчения от Космоса. Йонизиращите лъчения са част от факторите, които са водели до промени в гените и съответно мутации и развитие на видовете.

Има достатъчно данни за това, че много биологични видове приемат („усещат“) електромагнитни лъчения от различни честотни обхвати, а някои дори са генератори на подобно поле.

Например някои змиорки (*Anguilla*) имат способността да генерират електрическо поле. Риби, които генерират такова поле, се наричат *електрогенни*, а тези, които могат да детектират електрическо поле – *електрорецептивни*. Повечето от рибите, които са електрогенни, са и електроцептивни. По-голямата част от видовете „*електрически риби*“ могат да бъдат открити в морето, но също така има такива и в сладка вода в реките на Южна Америка и Африка. Много морски риби като акула, морска котка, могат да детектират електрическо поле, така че те са електрорецептивни, но не могат

да създават поле. Такива видове не се включват в наименованието „електрически риби“.

Електрическата риба генерира електрическо поле от специална структура, която се нарича „електрически орган“. Това са модифицирани нервни или мускулни клетки, локализиращи най-често в опашката на рибата. Съществуват риби, които генерират амплитуда от 10 до 500 V и електрически ток до 1 A. Тези риби са например, електрическата змиорка (*Electrophorus electricus*), морската котка (семејство *Malapteruridae*), електрическият скат (*Torpediniformes*). Този тип риби използват електрическия заряд обикновено за лов. При едрите скатове токът достига напрежение 700-800 V и сила 7-8 A, така че добре намагнитизира метална игла. Този ток не е в състояние да убие човек, но не е и съвсем безопасен. Случва се в топли слънчеви дни „скупчаещи“ скатове да решат да се поразходят по горните водни пластове. И, ако някой плувец неволно допре ръката си до такъв скат, моментално следват няколко електрически изпразвания, които биха накарали човека дълго време да си спомня с гримаса за неприятната среща с тази жива електростанция.

Някои видове морски лисици притежават също така добре развити електрически органи. В нашето Черно море се срещат два вида морски лисици, които имат 12 пъти по-слабо развити „електроцентрали“ от средиземноморските си посестрими и произвежданият от тях биоток е сравнително слаб - с амплитуда под 1 V. Те използват това поле за навигация, откриване на обекти (електролокация) и за комуникация с други електрически риби (електрокомуникация). Техният орган е разположен в главата зад окото и над устата. Такива са някои африкански мормируси и американският придънно живеещ звездоброец. Генерираният полета най-често са синусоидални, но има и видове, които излъчват импулсни сигнали.

От много години се проучват прелетните птици във връзка с това дали те използват земното магнитно поле за своята ориентация. Има данни, че те използват и много други ориентири като Слънцето, звездите, но най-големи спорове има за магнитното поле като такъв фактор.

През ранните 1970-те години W. T. Keeton прави серии от експерименти, за да получи отговор на този въпрос. На гърбовете на гълъби (*Columbia livia*) той залепва малки немагнитни месингови пръчици. На гърбовете на подобна група гълъби той монтира малки постоянни магнити, които могат да смутят и променят локалните стойности (около гълъба) на земното магнитно поле. Резултатът бил доста интересен: гълъбите с немагнитните импланти намерили пътя за дома си много по-добре от другите, на които имало поставени магнити.

През 2007 г. в немското списание *Naturwissenschaften* учените публикуват данни за това, че в кожния слой, лежащ под клюна на домашните гълъби, са открити тънки кристали от железен окис, намиращи се в 3-ортогонална координатна система, които могат да са детектори на земното магнитно поле. Това идентифицира тяхната позиция в географски координати.

За съжаление, малко птици са изследвани по отношение на наличието на някакви детектори за ориентация. Ясно е, че птиците използват много и различни методи за ориентация, но няма съмнение, че един от тях е и магнитното поле на Земята.

Какво да кажем за човека? От една страна той няма анализатори или каквито и да е сензори, които да могат да детектират различните спектри на електромагнитното лъчение, освен очният анализатор, който улавя много тесен диапазон от оптичните лъчения – от 380 nm до около 760 nm. Въпреки това, поради факта, че развитието на видовете се е извършвало при наличието на почти целия спектър на електромагнитните лъчения, живите организми, особено тези, намиращи се по-високо в дървото на живота, са изработили висока чувствителност към промените на съществуващите електромагнитни фактори.

Това в общия смисъл се отнася не само до НЙЛ, но и до почти всички физически фактори, които имат енергийно въздействие върху организма. Тук трябва да споменем тези от класа на „механичните“ фактори, като барометричното налягане, гравитацията, звуковите вълни; също и микроклиматичните фактори (конвекционната и радиационната

топлина); тези, свързани с образуване (зараждане) на електрически заряди, като йонизацията на въздушната среда и на частиците в нея, и други.

В това отношение може да се каже дори, че физическите фактори са „присъщи“ на живите организми и като такива, биологичните видове при еволюцията са изработили системи за възприемане, адаптация и компенсация на промените на тези фактори, при висока чувствителност на възприемането им.

Едновременно с това, поради същата причина, обсъждана по-горе, големи промени в стойностите на физическите фактори, както и на НЙЛ, не водят до вредни ефекти в организма на човека. Достатъчно е да споменем големия диапазон на възприемане на видимата светлина от окото, без да се увреждат структурите на органа: чувствителност от единични фотони до изключително високи интензитети на светлината. Подобно е положението и с ушния анализатор: той възприема звуково налягане от около 20 μ Pa, а прагът на болката е 6 порядъка по-високо – при 20 Pa. Известни са възможностите на адаптационните и компенсаторни механизми при промяна на климата (или микроклимата в жилищното и в работното помещение): в голям диапазон на изменение на външната температура различни механизми поддържат термичната хомеостаза на организма.

Електрическите полета действат върху стационарни заряди на различна дълбочина в кожата на човека, в зависимост от честотата на външното поле. Поради тази причина винаги се е считало, че промените, които учените установяват под въздействие на ЕМП, се дължат на прякото действие на електрическата компонента на полето. За магнитното поле и „чувствителните елементи“ в кръвта говорихме по-горе. Да не забравяме и факта, че всеки атом има ядро, а то от своя страна притежава съответен магнитен спин, на който външното магнитно поле може да влияе. По принцип, магнитното поле действа на движещи се заряди, т.е. всички клетки, които са в движение в тялото (например елементите на кръвта), като

заредени кондензатори (мембраните на клетките) се повлияват от приложеното външно магнитно поле.

Третата специфична характеристика на НЙЛ е **„комплексният характер“** на въздействието им на човека, което се изразява в това, че обикновено човекът се намира в среда с широк обхват на електромагнитни лъчения, т.е. върху него действат едновременно няколко фактора на средата, които са част от спектъра на НЙЛ.

Като пример отново може да се даде средата на обитаване на човека – населените места и бита. Облъчването е комплексно: статично електричество (подови покрития, синтетични дрехи и повърхности), електрически и магнитни полета с промишлена честота (битови електрически уреди, електрическа инсталация), радиочестотни и микровълнови ЕМП (видеомонитори, телевизионни приемници, микровълнови фурни, телефонни апарати с телефон-майка, GSM апарати, външни източници и антени). Едновременно с това се прибавят и ЕМЛ от естествен произход – слънчевата светлина, магнитното поле на Земята и др.

За комплексност на електромагнитното въздействие можем да говорим и от гледна точка на факта, че то много рядко е локално, въздействащо само върху части от тялото, върху определен орган или система. Комплексна е и реакцията на организма на облъчването с НЙЛ – тя винаги включва отговор от страна на редица структури, тъкани, органи и системи на организма.

Тези разсъждения говорят за изключително голямата важност на електромагнитните фактори по отношение на риска за здравето на човека. Понякога, при сравнение на степента на риска от въздействие с НЙЛ, с риска от въздействието с други физически, химически и други вредни нокси (това не е много правилен подход при оценката на риска!), електромагнитните фактори се negliжират. Една от причините е, че например, те не са доказани

канцерогени (освен част от УВ диапазон). Това донякъде е вярно и едновременно с това не е.

В последните 10 години Международната агенция за изследване на рака (IARC) е приела като „канцероген клас 2B – възможен“ магнитното поле от обхвата на свръхниските честоти. Все още продължават изследванията за възможната връзка на други обхвати от НЙЛ с някои видове рак. При тази универсалност на НЙЛ като фактори на средата е ясно, че рискът от въздействието им е в много по-голяма степен от много други рискове, за които могат да се вземат адекватни мерки за защита на населението. Все още няма данни за това какви могат да бъдат последствията върху здравето на поколенията от дългогодишното използване на електрически ток и всички останали уреди, системи и технологии. Първият сигнал е даден от IARC за връзката между някои видове рак (по-специално детските левкемии) и въздействието с нискочестотни магнитни полета над определени стойности.

През 2011 г. същата организация класифицира и ЕМП, излъчвани от мобилните телефони, в същата категория – „възможен“ канцероген, въз основа на единични изследвания, показващи връзка между някои ракови заболявания, като мозъчни тумори и такива на ЦНС и продължителните разговори с клетъчен телефон, без да има доказателства за причинно-следствена връзка или за механизмите на подобни ефекти.

Значимостта на НЙЛ като фактори на жизнената и работната среда на човека се възприема от международните организации като приоритет. Както беше споменато по-горе, световната научна общественост е обединена от СЗО в съвместна работа чрез „Международен проект по ЕМЛ“, стартирал през 1996 г. Една от основните цели на проекта е оценката на риска за здравето на работещите и населението от въздействието на ЕМП и УВ лъчения, въз основа на щателен анализ на публикуваната научна литература, с предварителна оценка на качеството на извършените изследвания.

Както знаем, оценката на потенциалния здравен риск от ЕМП включва многобройни противоречия и съмнения. Някои епидемиологични изследвания предполагат наличието на известни връзки между експозицията на ЕМП и заболяванията у хората. Най-голяма част от данните свидетелства за възможно повишаване на риска от левкемия при деца, свързано с експозиция на електрични и магнитни полета с честоти 50 Hz в домашни условия. Други научни находки, включително голям брой изследвания, проведени върху животни, не подкрепят това заключение, а много от самите епидемиологични проучвания имат съществени проблеми, включително неподходяща оценка на експозицията.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вредни действия на електричеството и защита от тях, под ред. на проф.Г.Анев, „Техника“, С., 1989 г.
2. Родев Т. – Живи електростанции, Космос, бр. 4, 1969 г. стр. 39.
3. Физически фактори на средата – оценка на експозицията и риска за човека, Учебник за студенти по медицински специалности „опазване и контрол на общественото здраве“, „медицинска физика“, за специализанти по „медицинска санитарна физика“ и по „трудова медицина“, изд. МУ-Плевен, 2015.
4. Bullock, T.H., Heiligenberg, W. (eds) (1986) Electoreception. Wiley, 722 pp.
5. Heiligenberg, W. (1991) Neural nets in electric fish. MIT Press, 179 pp.
6. Moller, P. (1995) Electric Fishes: History and Behavior. Chapman & Hall, 583 pp.
7. Radiofrequency electromagnetic fields - properties, quantities and units, Biophysical interaction and measurements, NCPR Report No.67, 1988.
8. Schwan H. – Biological effects of non-ionizing radiations: cellular properties and interactions, Lauriston lectures in radiation protection and measurements, Lecture No.10, National Council on Radiation Protection and Measurements, USA, 1987.

ГЛАВА 8

Топлинен и нетоплинни ефекти на въздействие на електромагнитните полета върху човека. Краткотрайни и продължителни (хронични) въздействия и ефекти. Преки и последващи (късни) ефекти на въздействие. Първични и вторични ефекти

В тази глава бихме искали да поставим някои въпроси, свързани с ограниченията, които се поставят от различните групи учени в света по отношение на възможните неблагоприятни ефекти от въздействието на електромагнитни лъчения с ниски честоти, радиочестоти и микровълни.

Въпреки елегантността на науката електродинамика и многото открития и технологии, доказващи практически правотата на теорията за електромагнетизма, независимо дали говорим в класическия или квантовия му смисъл, когато изследваме взаимодействията на електромагнитните вълни с биологичните обекти, срещаме сериозни затруднения. Факт е, че в последно време основните спорове в областта на влиянието на вредните фактори на средата се отнасят точно до тези взаимодействия.

В литературата се публикуват доста противоречиви научни резултати, които създават проблем при оценката на риска, извършвана периодично от международните организации. Споровете за това къде са границите

на облъчване в различните честотни обхвати на електромагнитните полета (ЕМП) или кои литературни източници трябва да бъдат прилагани в процеса на оценката на риска води до факта, че в настоящия момент различни неправителствени организации в Европа и в света не само че не приемат политиката на Световната здравна организация (СЗО) и на Европейския съюз (ЕС), но и провеждат активна борба срещу прилагането ѝ.

Например в различни страни и по различно време са приети различни резолюции, обръщащи се към населението с „факти“ за изключително вредното действие на ЕМП върху човека. Най-тежките и социалнозначими заболявания, като неоплазми, Алцхаймер, сърдечносъдови заболявания, както и невровегетативни смущения, свързани с промени в съня, кръвното налягане и други подобни, се свързват с облъчването на населението с ЕМП. Особено много се спекулира с възможния риск от това въздействие върху „ранимите“ групи от населението – децата, майките-кърмачки, бременните, възрастните хора и такива с хронични заболявания. Това се отнася до целия честотен обхват на електромагнитните вълни, но главно е насочено към радиочестотния и микровълновия обхват, където оперират технологиите за безжични комуникации.

Поради това е много важно да има **ясни биологични критерии** за оценка на риска от въздействието на тези полета, които да са основа за гранични стойности на експозиция за работещите и населението.

Въпреки че НЙЛ не могат да създават заредени йони при преминаване през различни среди, те имат достатъчна енергия за възбуждане на атомите, т.е. за преминаването им на по-високо енергетично ниво. При облъчване на биологични обекти се установяват разнообразни ефекти на взаимодействие в зависимост от честотния обхват и енергетичните характеристики на електромагнитното лъчение, които тук няма да коментираме подробно.

Най-общо са установени следните ефекти от въздействието на НЙЛ върху човека (НЙЛ са подредени по нарастване на дължината на вълната):

Ултравиолетово лъчение (нейонизиращ спектър)

Вредните ефекти от УВ област на спектъра засягат главно очите и кожата. Острите/краткотрайните ефекти от облъчването са:

- Върху очите - електроофталмия, фотокератит (с максимум на активния спектър - 270 nm), фотокожухит (260 nm), блефарит;
- Върху кожата - еритема (250 nm и 297 nm), изгаряния, фототоксичност и фотоалергия. Последните два ефекта могат да се разглеждат като резултат от взаимодействие на УВ лъчение с различни видове химични вещества (фотосенсибилизатори).

Изследванията на биологичните ефекти от УВ лъчения показват индуциране и утежняване на някои кожни болести като lupus erythematosus и pemphigus, както и индуциране на фоточувствителност на кожата с често използвани поглъщащи УВ лъчение лекарства и локално прилагани химикали. Фоточувствителността (фотосенсибилизацията) се предизвиква от голям брой вещества и нараства като проблем, особено със създаването на нови продукти. Досега в списъка на фотосенсибилизаторите са включени над 1000 вещества, включително растения, плодове и зеленчуци, лекарства, козметични средства и много други и списъкът продължава да расте.

Хроничните вредни ефекти от УВ-лъчение са:

- Върху очите - УВ катаракта (фотохимична), спиноцелуларен карцином на очните припадъци, хронична форма на електроофталмия, хроничен блефароконюнктивит. Предполага се също, че УВ лъчение е сред рисковите фактори за дегенерация на макулата, която води до забележимо влошаване на зрението.
- Върху кожата - кератози, преждевременно стареене на кожата и рак на кожата. Счита се, че лъчения в УВ обхват на оптичния спектър причиняват три основни типа рак на кожата: базалинома, спиноцелуларна карцинома и меланом.

Друг по-малко виден ефект от УВ лъчение е удебеляване (хиперплазия) на външните слое

е на кожата, който е с цел да се отслаби проникването на УВ лъчение към по-дълбоките слоеве на кожата. Този ефект както и еритемата са признак на увреждане на кожата.

Поглъщането на УВ лъчение от кожата предизвиква потъмняването на пигмента меланин и/или нарастване на броя, размера или пигментацията на меланиновите гранули, което се изразява в потъмняване на кожата. Облъчването с УВ лъчение предизвиква синтез на vit D в кожата, което е от жизненоважно значение за мускулно-скелетното здраве.

Видимо и инфрачервено лъчение

Действието на видимата област на спектъра не се свежда само до зрително усещане. Благоприятно действие на видимата светлина, освен че е единственият дразнител на окото, предизвиква зрително възприятие, включва и влиянието ѝ върху имунната и сърдечносъдовата система, възбуждането и потискането на централната нервна система.

За видимия диапазон на оптичното лъчение роговицата, лещата и вътрешните среди на очната ябълка са прозрачни и поради това се получават изгаряния на ретината, тъй като погълнатата енергия се превръща в топлина. В най-късовълновата част на видимия диапазон рискът от изгаряне на ретината се означава като „*риск от синя светлина*”.

Острите вредни ефекти са: временно “ослепяване”, нарушение на цветното и нощното виждане, промени в централното виждане.

Хроничните вредни ефекти от видимата светлина се основават на влиянието ѝ върху имунната, сърдечносъдовата и централната нервна система.

Благоприятно въздействие на най-дълговълновата част на оптичния диапазон - ИЧ-област, включва повишаване на естествената резистентност на организма, болкоуспокояващо и противовъзпалително действие. Освен това ИЧ лъчение може да усилва биологичния отговор на организма при въздействие върху тъканите с други агенти (може да се разглежда и неблагоприятния аспект на такова комбинирано въздействие).

Острите вредни ефекти от ИЧ област на спектъра са:

- Върху очите - електроофталмия, конюнктивити, изгаряне на роговицата, изгаряне на ретината (ИЧ-А);
- Върху кожата - еритема и изгаряне на кожата.

Хроничните ефекти от ИЧ-лъчи (особено при източници като пещи и др. силно нагreti тела) са катаракта, стареене на кожата, заболяване на сърдечносъдовата система (миокардиодистрофия, артеросклеротична кардиосклероза, исхемична болест на сърцето), нервната система (неврози, неврастении, полиневрити), промени в обмяната на веществата и терморегулацията. Действието на ИЧ лъчи най-често е комбинирано с неблагоприятния ефект на прегряващ микроклимат.

В радиочестотния обхват се говори най-много за **топлинното действие** на вълните. То се изразява в това, че погълнатата електромагнитна енергия от организма се превръща в топлина. Световната здравна организация е приела за неблагоприятен ефект от топлинното действие на радиочестотите и микровълните, повишение на телесната температура повече от 1°C. Така че, когато говорим за доказаните ефекти от въздействие на радиочестотите и микровълновите ЕМП, те се изразяват с **термичния ефект**.

Погълнатата и разсеяната електромагнитна енергия в организма зависи от много фактори, като например енергиите на двете компоненти на полето, конфигурацията на тялото на човека спрямо силовите линии на електрическото и магнитното поле, електрическите и магнитните характеристики на биологичните тъкани, дебелината на мастния подкожен слой и др.

Намирането на определени зависимости между интензитетите на полето извън тялото и индуцираното поле вътре в тъканта E_t е изключително трудно. Ефектът от въздействието е свързан с плътността на електрическия ток вътре в тъканта, и оттам – с интензитета на индуцираното поле в нея. Основната величина, която се използва за определяне на погълнатата енергия в тялото, е **специфичната погълната мощност (SAR, W/kg)**. Тази величина се дефинира по следния начин:

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho_t dV} \right) = \frac{\sigma}{2\rho_t} E_t^2.$$

Тук ρ_t е плътността на тъканта в kg/m³, т.е. $\rho_t dV = dm_t$ е единицата маса от тъканта, а σ е проводимостта на същата тъкан.

Специфични ефекти, като катаракта на очите, промени в активността на сперматозоидите и други, са свързани с въздействието на лъчението върху „критични“ органи, които имат различно кръвоснабдяване спрямо околните тъкани.

На основата на единични изследвания радиочестотните полета, излъчвани от мобилните телефони през 2011 г., са категоризирани в списъка на „възможните канцерогени“ за човека.

Неспецифични ефекти, като промени в централната и вегетативната нервна система, сърдечносъдова дисфункция и други подобни върху системите в организма, в миналото описвани от руската школа като „радиовълнова болест“ се основават на натоварване на системата хипоталамус-хипофиза-надбъбрек, главно на защитно-приспособителните функции на човека, свързани със състоянието на стрес.

Нискочестотни електрически и магнитни полета

Преките ефекти от въздействието им върху човека са свързани с възникването на заряди по повърхността на тялото и индуцирането на токове вътре в организма. Последните могат да влияят на възбудимостта на някои структури в организма, като нервните, мускулните влакна, централната нервна система, сърдечния мускул. Този факт се прилага за оценка на вредното действие на тези полета (пряк ефект от въздействието), като параметърът, който е в основата на нормирането е **плътността на индуцирания електрически ток в съответната биологична тъкан (J, mA/m²)**.

Освен директния ефект от въздействието, съществуват и косвени ефекти, свързани с допир до налични метални предмети и повърхности в района на експозицията, като при това могат да се създадат контактни токове с висока стойност. Косвен ефект се счита и прякото действие на нискочестотните полета върху медицински уреди и активни импланти,

например кардиостимулатори.

Епидемиологичните проучвания говорят за възможна канцерогенеза на нискочестотното магнитно поле – различни видове левкемия и тумори на мозъка и централната нервна система, но досега няма известни механизми за обясняване на ефектите. Независимо от това магнитното поле също е категоризирано в списъка на „възможните канцерогени“ за човека.

Постоянни полета (електростатично поле и постоянно магнитно поле)

Специфичните ефекти от въздействие на електрическото поле са свързани с индуциране на електрически заряди по повърхността на тялото. Ефекти като главоболие, сърбежи, изсушаване на роговицата и други, които се описват от пациенти, не е доказано да се причиняват само от въздействието на постоянните електрически полета.

Постоянното магнитно поле може да индуцира кръгови токове в организма, а също и ефекти върху зрението и централната нервна система, като магнитен фосфен, вертиго и други неблагоприятни ефекти и усещания.

Много важно е въздействието на нехомогенно магнитно поле, което може да бъде установено в помещения със съоръжения с ядрено-магнитен резонанс. Големите промени в **плътността на магнитния поток, B , T** , могат да индуцират високи стойности на електрическия ток в организма, който може да доведе до сериозни последици за здравето и безопасността на работещите. Не по-малка е опасността от „прехвърчане“ на метални предмети в помещението, поради привличане от страна на мощния магнитен източник.

„Положителните“ ефекти от въздействието на постоянното магнитно поле, като обезболяване, регулация на кръвния поток и на кръвното налягане, описвани от много фирми, произвеждащи или предлагащи продукти за лечение с магнитно поле, са само с емпиричен характер и няма достатъчно доказателства за причинно-следствена връзка.

Обсъдихме по-рано универсалността на НЙЛ по отношение на тяхното наличие в природата и в различните приложения и технологии.

Точно тази универсалност на фактора и поради факта, че цялото население е подложено на въздействието му, е много важно да се прилагат точни и доказани **биологични критерии за хигиенното нормиране** на НЙЛ.

В нискочестотния обхват (до 100 kHz) основният доказан биофизичен ефект е свързан с индуцирането на токове и заряди в организма на човека. При това, за биологичен критерий се използва **плътността на електрическият ток**, индуциран от външното поле. В последната Директива 2013/35/ЕС за защита на човека от въздействието на ЕМП в работната среда се дефинират

- „**преки биофизични ефекти**“ – ефекти, пряко предизвикани в човешкото тяло от наличието на електромагнитно поле, включително нетоплинни ефекти като стимулация на мускулите, нервите или сетивните органи. Тези ефекти могат да вредят на умственото и физическото здраве на изложените работници. Нещо повече, стимулацията на сетивните органи може да доведе до преходни симптоми като световъртеж или зрителни нарушения. Тези ефекти могат да предизвикат временно дразнение или да засегнат когнитивните способности или други мозъчни или мускулни функции, като по този начин могат да се отразят на способността на даден работник да работи безопасно, т.е. рискове за безопасност;
- „**непреки ефекти**“ – ефекти, предизвикани от наличието на обект в електромагнитното поле, което може да предизвика опасност за здравето или безопасността, като смущение на медицинско електронно оборудване и изделия, включително кардиостимулатори и другите имплантирани медицински изделия или медицински изделия, които се поставят върху тялото; опасност от попадане на феромагнитни предмети в постоянни магнитни полета; задействане на електрически взриватели (детонатори); пожари и експлозии, възникнали от запалването на запалими материали от искри, причинени от индуцирани полета, от допирни електрически токове или от искрови разряди, както и контактни токове от допир на човека до метални повърхности, в които са индуцирани токове и напрежения.

Тези ефекти Директивата разглежда като възможни чак до честота 10 MHz. Това е важен факт, тъй като при честоти над 100 kHz Директивата въвежда като биологичен критерий **погълнатата електромагнитна мощност в единица маса (SAR)**, а доказваният ефект от въздействието е само **термичният (топлинният) ефект**. При това е ясно, че в честотният обхват от 100 kHz до 10 MHz е възможно както индуцирането на електрическо поле в тъканите (индуциране на електрически токове), така и поглъщане на електромагнитна енергия в тъканите и превръщането ѝ в топлина, т.е. в този честотен обхват се прилагат и двата критерия за нормиране. Вторият ефект (топлинният) действа самостоятелно при честоти от 10 MHz до 6 GHz.

Над 6 GHz дължината на вълната става толкова малка, че поглъщането в дълбочината на тъканите е невъзможно. Над тази честота за критерий за нормиране се прилага **плътността на мощност (векторът на Пойнтинг)**, W/m^2 , единствената величина от цитираните биологични критерии, която може да се измерва в околното пространство около човека.

От тези дефиниции става ясно, че Европейската комисия „признава“ съществуването на нетоплинния ефект, но само за честоти, където е възможно индуциране на електрически токове в организма. Точно това твърдение тук ще оспорим чрез детайлно разглеждане на различните международни нормативни актове.

Първият въпрос, който следва да обсъдим е при какви условия се дефинира **„топлинният/термичният ефект“** от въздействието им. Целият цитиран честотен обхват под 100 kHz също може да има термичен ефект, тъй като ЕМП се използват в практиката за нагряване. Например ниските честоти (от 1-2 kHz чак до 2,5 MHz) се прилагат за термично нагряване на метали, докато радиочестотите и микровълните с честоти 27,12 MHz, 40,68 MHz, 2450 MHz – за слепване и сушене на диелектрици, за консервиране на храни, дори в готварската професия.

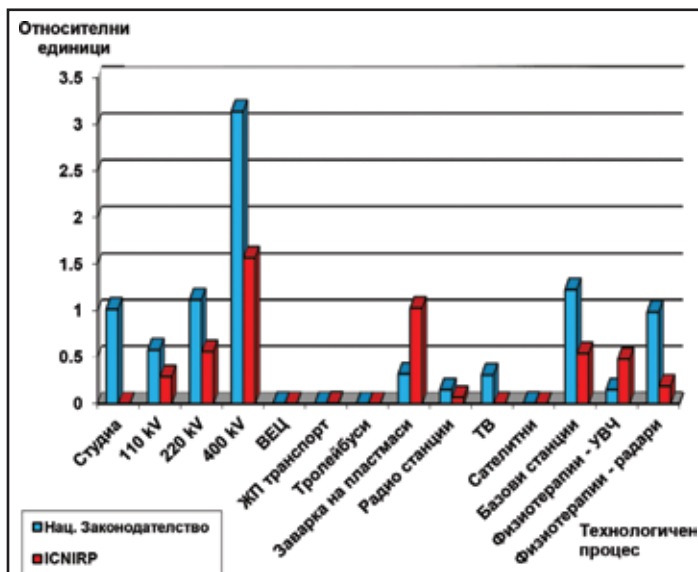
Световната здравна организация счита, че риск за здравето може да има, само когато повишението на температурата на тялото е повече от 1°C. Стойностите на излъчваните ЕМП при честоти под 300 MHz в индустрията са много под тези, предизвикващи топлинен ефект в цитирания по-горе смисъл.

Само микровълновите полета могат да бъдат излъчвани технологично със стойности, близки до термичните, тъй като има технологии (радарите, например), при които електромагнитната енергия се разпространява насочено с високи мощности и това може да доведе до нагряване на тъканите.

Нека видим някои данни от измервания в различни производства у нас, които да ни покажат, че няма стойности на ЕМП, които могат да бъдат с топлинен ефект върху човека.

На фигура 3 са представени стойностите на електрическото поле в относителни единици спрямо граничните стойности, действащи у нас и тези на ICNIRP, които са основа за разработване на европейската Директива 2013/35/ЕС.

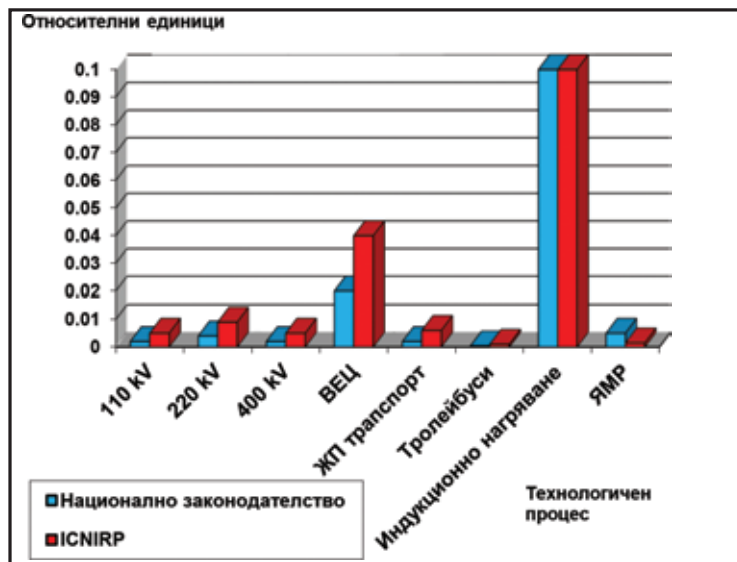
Фиг. 3. Стойности на електрическото поле в различни отрасли



Източник: М. Израел и др., 2009

На следващата фигура 4 са данните за магнитното поле, по същия начин сравнени с действащите у нас стандарти и с тези на ICNIRP.

Фиг. 4. Стойности на магнитното поле в различни отрасли

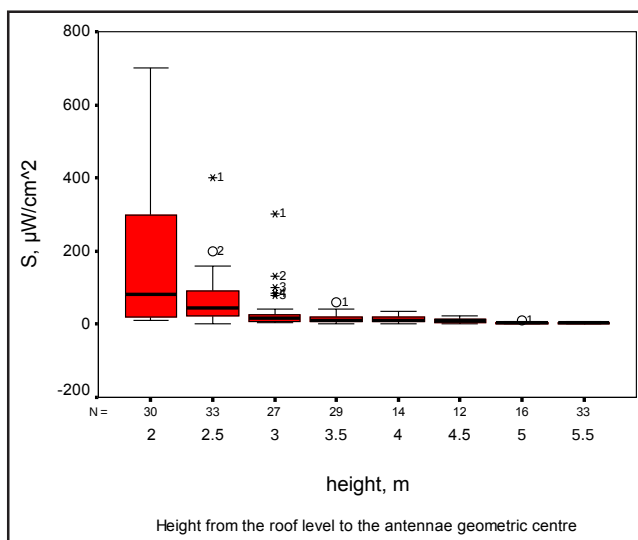


Източник: М. Израел и др., 2009

Вижда се, че в някои случаи (при открити разпределителни устройства – ОРУ с напрежения 400 kV) има стойности на електрическото поле, превишаващи международните гранични стойности до 1,5 пъти (националните до 3 пъти), но отново те са много ниски, за да създават какъвто и да е топлинен ефект на въздействие, освен че са с промишлена честота 50 Hz, при която термичната обработка на метали се извършва с много високи стойности на магнитното поле, а не на електрическото.

На фиг. 5 са представени и данни от измервания в близост до базови станции за мобилна комуникация, които също доказват ниски нива на експозиция от съвременните технологични средства, дори на разстояние 2 m, на което са правени представените измервания.

Фиг. 5. Зависимост на плътността на мощността от височината на излъчващата антена



Източник: Цв. Шаламанова, 2007

Забележка:

На абсцисната ос е нанесен броят на измерванията за всяка височина на монтаж на антените

Най-високите стойности на плътността на мощността са около $0,3 \text{ mW/cm}^2$, стойност, многократно под доказаните прагове за топлинен ефект на микровълните.

Точно затова е особено важно да наблегнем на **нетоплинните ефекти**, които са **най-избягваната тема** от създателите на норми, стандарти и законодателство в Европа и в света. Разбирателството в тази област е основа за решаване на **противоречията между различните школи** в науката за хигиенно нормиране на електромагнитните лъчения.

Доказано е, че нагряване над 1°C може да се осъществи при облъчване с микровълново лъчение с плътност на мощност над 25 mW/cm^2 . Под тези стойности се счита, че въздействието на ЕМП върху организма не е топлинно.

От наша гледна точка този въпрос може да се разглежда от две страни. Преди всичко, дори под цитирания праг за топлинно (термично) действие, има загреване на тъканите, въпреки че то е под 1°C . Т.е. то може да бъде разглеждано като топлинно, но без да води до неблагоприятен здравен ефект. От друга страна, някои теоретични проучвания показват, че освен топлинното действие съществува и „нетоплинно“, което е свързано с други механизми, без каквото и да е повишение на температурата на тъканите и той не е свързан директно с индуциране на токове в тъканите. Част от тях са доказани в експериментални лаборатории.

Термичният ефект на ЕМП е доказан и добре изучен. Праговите стойности, при които полето може да предизвика топлинен ефект върху организма, са зависими от честотата. Например при честота 500 kHz , за да се повиши температурата на тялото с 1°C , е необходимо да се въздейства със стойности $E \geq 8000 \text{ V/m}$ и $H \geq 160 \text{ A/m}$, което отговаря на еквивалентна стойност на плътността на мощност за далечната зона $S \geq 17000 \text{ mW/cm}^2$. За да се получи същия ефект при честота 3 GHz е необходима плътност на мощност не по-малка от 10 mW/cm^2 .

Механизмът на топлинния ефект е свързан с поглъщане на електромагнитната енергия от тъканите и превръщането ѝ в топлина. Терморегулацията на организма при микровълново

въздействие е подробно изследвано. Човешкият организъм има различни механизми за поглъщане на топлината и терморегулиране, поради което само някои органи се оказват „критични“ при термичното въздействие. Това са органи с различно кръвообращение в сравнение с останалите тъкани, като например тестисите, яйчниците, пикочният мехур, очите и др. Има достатъчно изследвания и за възникване на катаракта на очите при облъчване с дължини на вълните между 3 и 10 cm . Съществуват данни и за намаляване подвижността на сперматозоидите, както и за известен стерилитет поради загреване от микровълново въздействие. Освен това в настоящия момент се публикуват много статии, показващи наличието на резонансни и прозоречни ефекти при определени честоти и интензитети на ЕМП, въпреки че те все още не са доказани чрез повторно изследване от други независими лаборатории в света.

Повечето от стандартите в света дефинират добре самия термичен ефект при честоти над 100 kHz .

Например в стандарта IEEE C95.1-2005, също и в новата публикация IEEE PC95.1/D2.6-V1, Май 2012, **топлинният ефект** се дефинира като *„промени в организма, свързани с нагряване на цялото тяло или на част от него, водещо до значително повишаване на температурата, индуциращо физиологична реакция. Терморегулационните механизми за загуба на топлина (потене, кръвен поток) могат да отложат, намалят или защитят от измеримо нарастване на температурата. Установените вредни здравни ефекти се свързват при нива на нарастване на температурата на тялото около 1°C или повече... Това ниво на нарастване на температурата се постига от цялостно поглъщане на енергия за единица време (SAR) при нормална естествена среда от около 4 W/kg за около 30 min .“*

Описанието на процесите на загреване на тъканите се прави при честоти между 100 kHz и 300 GHz , където те доминират за цялото тяло. Над 100 kHz , ефектът от непрекъснатото електромагнитно поле (CW) и преминаването от електростимулация към топлинни ефекти се

оценява чрез въвеждане на средно време, което варира с честотата и за някои честоти зависи от начина на облъчване – по-ниски нива (население в неконтролирана среда) и по-високи нива (работещи в ограничена среда). При такива случаи, IEEE обсъжда честотата от 100 kHz като „термичен праг“, под който ефектите на електростимулация (нетоплинни) доминират, а над този честотен праг радиочестотните полета предизвикват само топлинни ефекти. Както видяхме преди малко, подобна е философията и на Директива 2013/35/ЕС.

За импулсни форми на вълната, основно при тези с нисък фактор на запълване, честотата, при която може да има електростимулация, достига до 5 MHz. За честоти над 3 GHz, ефектът от въздействието води до първично повърхностно загряване, което защитава от прекомерно загряване на тъканите.

За целите на препоръката на IEEE (IEEE PC95.1/D2.6-V1) от 2012 г. се дефинира параметърът **„термична временна константа“**. Тази величина е временно измерение на реакцията на биологичната система на допълнителната топлинна енергия. За радиочестотни ЕМП, тази константа е индикатор за времето, през което биологичната тъкан достига равновесно положение, след началото на облъчването. Най-общо, термичният отговор на тъканта е комплексна функция на топлинните характеристики на тъканта и на параметрите на облъчване и термичната временна константа следва да се счита за временен праг, над който се осъществява термичният отговор.

Следвайки описанието на IEEE стандарта, дефиницията на термичната временна константа τ (s) е:

$$\tau = \frac{CAT_{ss}}{SAR}$$

където ΔT_{ss} е равновесното състояние след увеличението на температурата (в K или °C) в съответната тъкан, предизвикано от облъчването с радиочестотни ЕМП при съответна SAR (във W/kg), а C е специфичният топлинен коефициент на тъканта. Терморегулаторните механизми на човешкото тяло трябва да се включат в разсейването на „добавената топлинна енергия“ в тъканта, предизвикана от облъчването.

В IEEE C95.1, термичните нива са дефинирани само за радиочестоти и те са *„достатъчно високи да предизвикат значително нарастване на температурата на облъченото тяло, тъкан или експериментален обект“*.

Международната организация ICNIRP дава различно описание на термичен/нетермичен ефект, без определена дефиниция за същността на проблема.

Имайки предвид **„поглъщане на електромагнитна енергия“**, ICNIRP казва, че облъчването с нискочестотни електрически и магнитни полета нормално резултира в незначително поглъщане на енергия и температурата на тялото не се покачва. Облъчването са ЕМП с честоти над 100 kHz може да доведе до значително поглъщане на енергия и нарастване на телесната температура. Най-общо, облъчването с хомогенно (плоска електромагнитна вълна) поле резултира в силно нехомогенно разпределение на енергията в тялото, което може да се оцени само чрез дозиметрични измервания и изчисления.

Тук, дефиницията на *„неизмеримо малко нарастване на температурата на тялото“* е неясна в смисъл дали поглъщането може да доведе до термичен ефект, който не може да бъде измерен, или става дума действително за някакъв „нетермичен ефект“. По наше мнение, една от най-авторитетните международни организации ICNIRP избягва директното описание на този тип ефекти.

Връщайки се към **нетермичните ефекти**, нека представим общите дефиниции:

Както дискутирахме по-горе, ICNIRP дава много елементарно описание на нетермичния ефект: *„атермичен ефект... (нормалният термин трябва да бъде нетермичен ефект) е всеки ефект от въздействие на ЕМП върху човека, който не е свързан с ефекти от повишаване на температурата“*.

Същият стандарт на IEEE, цитиран по-горе, описва полетата, които предизвикват нетермични ефекти, като *„полета с интензитет, който считаме за толкова нисък, че да не може да предизвика значителна топлина, която да продуцира директни или инди-*

ректни биологични ефекти”. Последната дефиниция е в последния вариант на стандарта - IEEE PC95.1/D2.6-V1, May 2012, и е същата като за ефекти от въздействието на ниски нива на облъчване: „биологични ефекти, свързани с облъчване с ниски нива на електрически, магнитни и ЕМП, под съответните дозиметрични референтни нива в честотния обхват, цитиран в този стандарт (0 Hz–300 GHz)”, или както е в стандарта C95.1-2005: „Електромагнитни полета в честотния диапазон 3 kHz–300 GHz, които продуцират индуцирани електрически полета в тялото, SAR или плътност на мощност под съответните основни ограничения”.

Дискусиите относно тези ефекти при създаването на новата европейска Директива 2013/35/ЕС за защита на работещите под въздействието на ЕМП също не дава добро решение на проблема. Едно от предложенията по време на дискусиите за термина „термични ефекти” е следното: „ефекти, свързани с поглъщане на електромагнитна енергия в тъканите” (всяка погълната енергия ли се превръща в топлина?), а за „нетермични ефекти”: „ефекти от въздействие на електромагнитна енергия върху тялото, които не са свързани с продуцирането на топлина” (дали това е дефиниция или само отрицание?).

Друго предложение клони към текстовете, дефинирани по-горе за „директни биофизични ефекти” като „ефекти, директно провокирани в човешкото тяло от наличието на ЕМП, в частност загряване (термични ефекти), и стимулация на мускули, нерви и сензорни органи, вертиго или фосфени (нетермични ефекти), които могат да имат вреден ефект върху менталното или физическо здраве при облъчените работници, или създават временно раздразнение, или да въздействат на когнитивните или други мозъчни или мускулни функции, което може да наруши работоспособността на работника или неговата безопасност” (това звучи значително по-добре!).

Нека започнем с последната дефиниция. Ясно е, че всички ефекти от въздействието на ЕМП са „директни биологични ефекти”. Ние знаем, че не всеки биологичен ефект може да бъде

описан като неблагоприятен здравен ефект. Но е много важно да се спомене, че тази дефиниция може да се счита за основа за разделяне на топлинните от нетоплинните ефекти и че тя описва донякъде какъв тип са нетермичните ефекти. Следвайки това определение на Директивата, нетермичните ефекти включват стимулация на мускули, нервни влакна или на сензорни органи, също и вертиго или фосфени, за разлика от термичните ефекти, които могат да се опишат чрез нагряване на тъканите. И двата вида ефекти, и термичните, и нетермичните, могат да предизвикат неприятни усещания (раздразнение) или да засегнат когнитивните способности или други мозъчни или мускулни функции, както и могат да въздействат на работоспособността на работника и на неговата безопасност.

Това определение е много по-добро, отколкото да се избягва проблема, както това се прави в повечето международни стандарти (като IEEE C.91-2005) и препоръки (като ICNIRP Guidelines).

Отивайки към граничните стойности за термични ефекти, всички международни стандарти препоръчват за основно ограничение за средна стойност на цялостно поглъщане на енергията SAR = 0,4 W/kg за облъчване в работната среда. Допълнителен редуциращ фактор от 5 се въвежда за облъчване на населението, което дава средна стойност на цялостно облъчване SAR = 0,08 W/kg. По-ниската стойност на основното ограничение за население се прилага поради факта, че възрастта и здравното състояние на този контингент са различни от тези на работниците.

Накрая, по наше мнение, нетермичните ефекти могат да се опишат като биологични ефекти (директни или индиректни), които не са свързани с нагряване на тъканите, а главно с електростимулация. Свързано с приетите гранични стойности в IEEE C95.1, 2012, на основата на краткотрайни реакции при честоти под 100 kHz за нетермични ефекти от CW въздействие, вредните здравни ефекти от нетермични ефекти са неприятни и болкови стимулации на сензорните и моторните неврони, възбуждане на мускулните влакна, което може да доведе до заболяване при извършване на по-

тенциално опасни дейности, до възбуждане на неврони или директна промяна в синаптичната активност в мозъка, възбудимостта на сърдечния мускул и неблагоприятни здравни ефекти, свързани с действието на индуцирани потенциали или сили от движещи се заряди в тялото, като тези в кръвния поток. Всички тези ефекти са доказани в научната литература и могат да бъдат прилагани в хигиенното нормиране, а не „да се бяга“ от въпроса.

Ясно е, че научната общественост се „люшка“ в терминологията, но не само в нея, а също и в същността на проблема.

В същото време СЗО обсъжда въвеждането на принципа ALARA за защита на човека, който действа засега само за защита от йонизиращите лъчения, където освен детерминистичните ефекти (с наличие на прагове на вреден ефект) съществуват и стохастични ефекти, които са вероятностни, но с висока степен на увреждане и късни последствия, дори за поколенията. Тук подобни ефекти не са открити, поне до настоящия момент.

От друга страна, една сериозна международна организация – IARC (Международната агенция по изследване на рака), която класифицира канцерогените (химични субстанции, физични фактори и др.) за човека в 4 основни класа, определи магнитните полета от свръхнискочестотния обхват (от 1 до 300 Hz) като **канцероген от клас 2B – „възможен“ канцероген**, на основата на епидемиологични проучвания, показващи по-високия процент на случаи от някои видове рак сред населението, експонирано на магнитно поле с плътност на магнитния поток над 0,3 μ T, особено отнасящо се до левкемии при децата.

През м. май 2011 г. Световната здравна организация, съвместно със същата агенция (IARC) в Лион, Франция, класифицира и радиочестотните ЕМП като **„възможен“ канцероген за човека (клас 2B)**. Това решение е основано на по-високия риск за глиома, малигнен тип на мозъчен тумор, свързан с ползването на безжични телефони. Работната група от СЗО и IARC дискутира възможността подобно облъчване да предизвика продължителни здравни ефекти, в частност повишен риск от рак. Това е

с голямо обществено значение за населението, в частност за тези, които ползват клетъчни телефони, още повече, че броят на тези лица нараства бързо, особено сред младото поколение и децата.

На основата на факта, че през 2008 г. са установени нови 237913 случая на мозъчни тумори (всички типове в комбинация) в света, от които глиомите представляват 2/3 от тях, работната група е взела решение да включи радиочестотните електромагнитни полета в категорията на факторите, за които има **„ограничени доказателства за канцерогенеза“**. Това означава **„положителна връзка между фактора и ракови заболявания, на която може да се вярва, въпреки че няма ясни потвърждения за този факт“**.

Бихме казали: **доста неясни доказателства за още по-неясно решение...**

При вземането на това сериозно решение са обсъдени резултатите от изследването ИНТЕРФОН, което е с много участници от цял свят по отношение на **„връзката между риска за акустична неврома и облъчването с мобилен телефон. Доказателствата са дискутирани внимателно и оценката показва „ограничена връзка“ между заболяванията от глиома и акустична неврома и облъчването с електромагнитни полета от мобилни телефони“ и неадекватна връзка между радиочестотните електромагнитни полета и всякакви други видове рак при човека**. Работната група не оцени възможния риск, поради недостатъчната адекватност на доказателствата от научните изследвания и недостатъчния им период от време. Накрая, заключението е, че **„докато се съберат доказателствата за възможната връзка, е необходимо да се поддържа едно заключение за включване на радиочестотните електромагнитни полета от безжичните телефони като канцероген 2B от класификацията на IARC“**.

Доста по-рано, УВ лъчение е включено в класификацията на канцерогените – клас 1 (**„доказан канцероген за човека“**), както и това, излъчвано от солариумите.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вредни действия на електричеството и защита от тях, под ред. на проф. Г.Анев, „Техника“, С., 1989 г.
2. Израел, М. – Оценка на експозицията и риска от въздействие на ЕМП върху персонала н ОРУ и ЗРУ, Безопасност и трудова медицина, 2004, с.18-22.
3. Израел, М., В. Зарябова, М. Иванова – Възможни здравни рискове при комуникациите в България, Социална медицина, година XI, № 4, 2003 г.,с.4-7.
4. Израел М., В. Зарябова, М. Иванова, Ц. Шаламанова, П. Иванова – Риск от въздействие на електромагнитни полета в България и политика за неговото ограничаване, Българско списание за обществено здраве, издание на НЦООЗ, 2009, стр.58-72.
5. Шаламанова, Цв. - Оценка на електромагнитната експозиция върху човека от източници, използвани в мобилната комуникация, дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „доктор“, НЦООЗ, София, 2007.
6. Adair E. – Microwaves and Thermoregulation, Academic Press, NY, London, Paris, San Diego, etc., 1983.
7. Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), CR 1999/519/EC, Official Journal of the European Communities, 1999.
8. ICNIRP Guidelines – Guidelines on limits of exposure to time-varying electric and magnetic fields (to 300 GHz), Health Physics, April 1998, Vol. 74, No.2.
9. ICNIRP Guidelines – Guidelines on limits of exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), Health Physics, April 2010, Vol. 99, No.6
10. ICNIRP Guidelines – Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics, April 2009, Vol. 96, No.4.
11. IEEE C.95.1 – Standard for safety levels with respect to human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields 0 to 300 GHz, May 2011.
12. IEEE Standard for military workplaces – force health protection regarding personal exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields, 0 Hz to 300 GHz, IEEE TC 95, 2014.
13. Israel M., V. Zaryabova, M. Ivanova - Electromagnetic field occupational exposure - non-thermal vs thermal effects, Electromagnetic Biology and Medicine, DOI: 10.3109/15368378.2013.776349

ГЛАВА 9

Видове изследвания. Цел на изследването. Използвани методи за оценка на въздействието. Системи и постановки за въздействие. Изследване „случай-контрола“, „кохортно изследване“, „сляп“ и „двойно сляп“ експеримент. Основи на епидемиологичното проучване. Ретроспективно изследване. Методология на изследванията за въздействие на електромагнитни лъчения

Както беше описано в глава 7, нейонизиращите лъчения са много разпространени, универсални и присъщи на живите организми фактори на средата. Това води до сериозни затруднения при изследване на въздействието им върху човека, за разлика от други външни фактори, като например токсичните нокси. Тук ще разгледаме някои от тези трудности, свързани с оценката на възможния здравен ефект на ЕМП върху човека.

Нека преди всичко идентифицираме и класифицираме най-общо различните методи, прилагани при изследване на въздействието на различни фактори на средата върху човека. Повечето от тях са дефинирани в Глава 2. Терминология, поради което тук ще бъдат само

споменати къде се прилагат като възможни методи или методология за изследване на въздействието на ЕМП.

Лонгитудинално изследване. Прилага се най-често при изследване на хронично повтарящо се или продължително във времето облъчване с ЕМП.

Наблюдение. Често се прилага при групи лица, които имат подобни въздействия или симптоми. Използва се при някои епидемиологични изследвания, както и за проследяване на промените в симптоми, свързани с явлението „свръхчувствителност“.

Проспективно изследване. Тази методология е проследяваща и е свързана с наблюдение на хомогенна група хора (по възраст, пол, електромагнитна експозиция и др.) при еднотипно въздействие. Обикновено се следи определен параметър (или повече от един), специфичен за конкретното въздействие. Прилага се в епидемиологията при оценка на въздействието на хомогенни групи работещи при еднакви условия на експозиция.

Ретроспективно изследване. Това е една от най-добрите използвани методологии за изследване на експозицията на групи от населението (или работещи), за продължителен период в минало време. По този метод се събира информация, която може да се свърже със „стари“ облъчвания, за проследяване на развитието на заболяване или за професионална болест, свързана с електромагнитно въздействие.

Биологичен експеримент. Целта на един експеримент за въздействие на ЕМП е да се въведе промяна на някой от параметрите на системата (независима променлива) и да се изследва ефекта от тази промяна (като зависима променлива). При експерименталния дизайн се имат предвид основно две основни разсъждения:

- Че независимата променлива е единственият фактор, който се променя по време на въздействието и е подходящо контролиран или другите фактори, които могат да пречат на резултатите са елиминирани;

- Или че зависимата променлива действително отразява явлението, което изследваме, т.е. може да бъде определена точно и да се елиминират експериментални грешки при измерванията.

Контролиран лабораторен експеримент.

Пример за подобен експеримент е стар анекдот, който казва следното: „Някой твърди, че си щрака с пръсти, „за да държи тигрите надалеч“, и потвърждава това свое поведение с изказване „Виж! Този метод работи!“ Докато този „експеримент“ не фалшифицира хипотезата „щракането с пръсти държи тигрите надалеч“, той в действителност не подкрепя хипотезата, че ако не щракаш с пръсти, тигрите няма да дойдат... Оттук става ясно, че за демонстриране на хипотеза за причина и ефект, експериментът често трябва да покаже, че явлението се проявява след определено въздействие върху обекта и не се получава при липса на такова въздействие.

Стандартна крива. Това е зависимост, която се установява при експеримента върху съответния обект спрямо контрола, идентична на обекта, и която отразява позитивен или негативен резултат от въздействието, със съответната вероятност за поставената хипотеза.

Изследване на доброволци. При подобно изследване обектът (човекът) се подлага на определен стимул, на който той реагира по определен начин, като целта на експеримента е да се тестват методи за изследване и да се оцени реакцията на стимула. Това е често прилаган метод за провокирани изследвания на въздействието на ЕМП.

Епидемиология. Ясно е, че това е методология за изследване на въздействието на ЕМП върху групи население, работещи, както и върху цели популации. Епидемиологичният подход изисква наличието на качествени регистри, статистически данни, информационни бази данни, както и информация за експозицията в ретроспективен период.

„Сляп“; „двойно сляп“ експеримент. Използва се най-често при експериментални изследвания, включително и с доброволци, където се изисква експериментаторът, както и участниците в експеримента, да бъдат не-

зависими по отношение на подаваното ЕМП, времето на въздействие или който и да е друг параметър, който е свързан с независимостта на получените резултати.

Изследване „случай-контрола“. Една от най-често прилаганите методологии при изследване на експониране с ЕМП групи работещи или население. Сравняват се с добре подбрана контрола, идентична с експонираната, но без облъчване с ЕМП.

Кохортно изследване. Подобно на проспективното изследване, но се прилага в случаи, когато не са достатъчно точно известни показателите на облъчване на групи от населението. Тази методология позволява да се свърже определена промяна в жизнените показатели на човека с определени параметри на въздействащото ЕМП.

За да разгледаме конкретно спецификата на изследванията, които трябва да се извършват за целите на оценката на въздействието на ЕМП върху човека, ще разгледаме отделно някои проблеми, които правят тези изследвания толкова сложни и противоречиви.

Нека дефинираме първо **параметрите на ЕМП**, които определят биологичните ефекти от въздействието им. Основно те са следните:

1. **Честота (или дължина на вълната).** Всеки от цитираните поддиапазони, описано по-горе в същата глава, има различно специфично за съответните дължини на вълните биологично действие. От различните честоти зависи дълбочината на проникване на електромагнитната енергия в биологичния обект; количеството погълната и отразена енергия от биообекта; дифракционни явления на повърхността му.
2. **Интензитет (стойности) на ЕМП в пространството:** за микровълновия обхват това е плътността на мощност, W/m^2 , докато за радиочестотите и ниските честотни обхвати – интензитетите на електрическото и магнитното поле, във V/m , A/m ; за свръхниските честоти – интензитетът на електрическото поле и плътността на магнитния поток, V/m , T (или Gs). Със стойностите на полето е свързана изразеността на реакциите на биообекта по време на въздействие.

3. **Времето на облъчване (експониране)** – характеризира реалното време на експозиция по време на експеримент, продължителност на работа, или за дълъг период от време. Времето на облъчване влияе върху насочеността на реакцията на биообекта, а също и на възможностите му да развие приспособителни и кумулативни реакции.
4. **Плътност на падащата енергия (падащата доза),** включваща стойностите на полето и времето на въздействие. Например за микровълново лъчение, плътността на падащата енергия може да се определи като плътността на мощност, умножена по времето на облъчване, във $W.s/m^2$.
5. **Поляризация на ЕМВ** – линейна, кръгова, елиптична. Характеризира взаимната ориентация на векторите на ЕМП в пространството. От тази ориентация (например на вектора на електрическото поле) зависи количеството погълната енергия от организма (при РЧ и СВЧ), както и силата на индуцираните токове в организма (при ниски честоти).
6. **Модулация** (амплитудна, честотна, импулсна и т.н.). Свързана е с някои специфични реакции на биологичния организъм, в зависимост от инертността на биосистемите.

На второ място ще дефинираме **особеностите на биообектите**, които могат да влияят на ефекта от въздействието на ЕМП.

1. **Геометрични размери на тялото.** Биологичната значимост на този параметър силно се влияе от дължината на вълната на въздействащото ЕМП. При облъчване с микровълни, размерите на тялото влияят върху:
 - Общото (интегралното) поглъщане на електромагнитната енергия от тялото, свързано и с дифракционни явления, зависещи от съотношението между линейния размер на тялото L и дължината на вълната λ ;
 - Специфичното поглъщане на електромагнитна енергия от тялото (в единица маса) също зависи по сложен закон от съотношението λ/L . Тази зависимост ясно е определена при дефинирането на специфичната погълната мощност SAR при разглежда-

нията за въздействието на микровълните върху човека.

- Степента на облъчване на вътрешните органи. Като пример, при малките животни близостта на вътрешните органи до повърхността на тялото води до по-големи погълнати енергии в тях, в сравнение с по-големите биологични видове.
- 2. *Отдалеченост на жизнено важни органи от повърхността на тялото.*
- 3. *Анатомични особености на биологичния обект* – дебелина на кожните тъкани, на подкожната мастна тъкан и други, отличаващи се със своите електрофизически и топлопроводими свойства, силно влияещи върху количеството погълната и отразена електромагнитна енергия.
- 4. *Степен на кръвоснабдяване* на съответните органи. Свързано е с разпределението на погълнатата енергия, превърната в топлина.
- 5. *Ниво на организация на животното.* От него зависи видовата резистентност към ЕМП, също и компенсаторно-приспособителната способност на съответните органи и системи в организма.
- 6. *Функционално състояние на организма.*
- 7. *Подбор на биообекти*, които имат сходни механизми на терморегулация, особено при облъчване с микровълнови ЕМП.

На основата на цитираните свойства и параметри, влияещи на изследването, могат да бъдат направени съответни препоръки при разработването на постановки, протоколи (дизайн) на различни видове изследване на електромагнитното въздействие върху човека.

Едно от първите действия при разработване на изследователския дизайн е **подборът на биообекта**.

Изследвания за въздействието на ЕМП могат да се правят върху различни биообекти, като животни, микроорганизми, вируси, гъби и т.н., както и върху клетки, тъкани, макромолекули и, разбира се, върху човека. Подборът на биообекта основно зависи от целите, които изследователят си поставя. Например:

- Изследване на механизми на въздействие на ЕМП върху човека;
- Обосноваване на гранични стойности на облъчване;
- Изучаване на възможностите за прилагане на ЕМП в биологията, диагностиката, терапията и др.

1. *В първия случай* могат да се използват както микроорганизми, така и висши организми. При това е важно да се отчитат само общите методически принципи, които определят особеностите на биообекта по отношение на взаимодействието на ЕМП с него.
2. *При обосноваване на максимално допустими стойности* е целесъобразно да се изследват големи по размери животни или такива с близки характеристики до тези на човека. Тук е важно да се има предвид продължителността на живота, анатомическите особености, физиологията, типът на обмяна на веществата, така че резултатите да могат да бъдат прехвърляни директно или с известно приближение към човека.
3. При изследване на лечебните свойства на ЕМП е важно да се изучава не само терапевтичната ефективност на ЕМП, но също и страничните ефекти, които могат да възникват вследствие на облъчването.

Как да бъде извършвано **облъчването на биообекта**?

Облъчването зависи от задачата на изследването, както и от подбора на биообекта. То може да бъде дорзално, вентрално, латерално, краниално, каудално. Възможно е също да се разглежда като общо (целотелесно) или частично (локално). Ето някои идеи, които биха били полезни за изследователя:

1. Всички експериментални животни, с цел подготовка за опитите, трябва да бъдат подлагани на *продължително мимолъчване* с възпроизводство на всички етапи на въздействие, които ще се извършват последователно по време на реалния експеримент.
2. Способът на *фиксиране на животното* също играе сериозна роля по отношение на типа облъчване, както и за избягване на

стресови състояния. Не трябва да се забравя и необходимостта от прекъсвания на облъчването и отпих на животните по време на експеримента.

3. Необходимо е да се предвиди *разположението на тялото* спрямо силовите линии на ЕМП, в зависимост от целите на експеримента.
4. При извършване на опити за нискоинтензивно хронично въздействие да се има предвид *продължителността на живота* на биологичния обект, с цел последващо прехвърляне на данните върху човека.

Техническото обезпечаване на експеримента е много важен елемент за постигане на достоверни резултати. То се определя в зависимост от целите на експеримента, на честотния обхват на ЕМП, както и на вида и размерите на използваните биообекти в изследванията.

Например при облъчване с дължини на вълните от 1 m до 1 mm биообектът може да се облъчва както целотелесно, така и локално или едностранно (странично).

1. Важно е опитите да се провеждат в *свободно пространство* или в камери с поглъщащи материали на стените (безехови камери). Те могат да се извършват и в големи помещения, където зад облъчвания обект има стена, облицована с поглъщащи материали.
2. Идеята за свободно пространство може да бъде дефинирана като *минимално допустимо разстояние, не по-малко от няколко дължини на вълните*.
3. Определянето на „силата на въздействие“ (стойностите на полето) трябва да се извършва чрез измерване, което да включва доказателства за *равномерно разпределение на полето* в пространството. Измерването се прави поне в 3 до 5 точки по протежение на обекта и на съответни разстояния от него.
4. Да не се допуска в близост до облъчвания обект да има *метални отразяващи предмети и повърхности*.

5. Да се поддържа *определена постоянна поляризация на ЕМП* по време на експеримента.

6. *Броят и размерът на експерименталните животни* трябва да бъде определен в зависимост от пространственото разпределение на ЕМП в камерата. При облъчване на животни с малки размери, те могат да бъдат по-голям брой, докато големите животни трябва да бъдат облъчвани самостоятелно. При това не трябва да се забравя условието за равномерност на облъчването, особено при наличие на повече от едно животно в експерименталната област.

За достигане на равномерност при облъчването може да се прилагат методи за бавно въртене на излъчвателя, периодична смяна на обектите и др. Не трябва да се забравя, че облъчването на група животни също може да не е равномерно, което може да доведе до грешни резултати.

Необходимо е да се измерват *допълнителни показатели на околната среда* по време на експеримента. Например той да се извършва в едни и същи часове от денонощието; да се следят микроклиматичните показатели в камерата; да се измерва електромагнитният (или магнитният) фон преди и след, а по възможност и по време на изследването и т.н.

При облъчване с вълноводи в СВЧ диапазона следва да се спазват изисквания за равномерност, запазване на поляризацията по време на експеримента, да се извършва контрол на падащата и отразената енергия; да се следи разпределението на ЕМП чрез прилагане на измервателни, визуални и др. методи за оценка.

Облъчването с ЕМП от по-нискочестотните обхвати (близката зона) трябва да се извършва при *отделно въздействие с електрическата и магнитната компонента на полето*. Това може да става съответно в кондензаторно поле и при облъчване със соленоид, като това облъчване е общо. При въздействие с подобни съоръжения е много важно да се отчитат краевите ефекти на неравномерност на полето, както и разпределението на силовите линии около облъчваните обекти. Големите раз-

мери на облъчващата постановка позволяват да се намалят грешките от неравномерност и нехомогенност на ЕМП.

Регистрирането на биологичните параметри при изследване на въздействието на ЕМП също има свои особености. Необходимо е да се вземат мерки за намаляването на всички възможни артефакти, които могат да повлияят върху качествените и адекватни резултати от изследването.

Преди всичко трябва да се има предвид възможността *метални електроди, кабели, диагностична техника и др.* подобни да *изкривяват ЕМВ* и да водят до промяна на стойностите на експозиция на биообекта. При това някои методи могат да бъдат прилагани само преди и след експеримента, но не и по време на облъчването.

В случаите, когато измерванията се извършват с *неметални електроди*, регистрирането на съответните физиологични параметри може да се извършва и по време на облъчването.

Друго важно условие е да се прилагат методи, които *не използват метални датчици*, елементи, повърхности по време на облъчването или такива, които *не се влияят от ЕМП* и не *изкривяват силовите линии* на електрическото или магнитното поле.

В случай, че се налага *използването на метални електроди* по време на експеримента, то те трябва да са с размери, много по-малки от прилаганата дължина на вълната.

Важно е също провеждащите физиологичния сигнал кабели да се разполагат перпендикулярно на електрическите силови линии, за да не влияят на облъчването.

Изследванията с доброволци дават най-добри резултати за прякото им прилагане както в областта на хигиенното нормиране, така и за установяване на някои параметри при нискоинтензивни нетоплинни въздействия. За разлика от експериментите с животни, при които е трудно прехвърлянето на данните върху човека, при изследвания с хора резултатите са пряко приложими в практиката. Разбира се, при спазване на етичните норми и изискванията за безопасност на доброволците.

Как се подбират доброволци за подобен експеримент?

1. Преди всичко изследователят трябва да извърши *медицински изследвания на доброволците*, за да се елиминират всякакви остри или хронични заболявания, които могат да повлияят на резултатите от изследването.
2. Добре е *доброволците да се намират в стационар или при подобни условия* за времето на експеримента.
3. Подборът на лицата трябва да бъде на основата на хомогенност в смисъл на *близки физиологични показатели, пол, възраст* и други подобни, необходими за периода на изследването.
4. Облъчването трябва да се извършва *след съответна адаптация* на доброволците към условията на експеримента.
5. Преди изследването е необходимо да се извърши подробен и точен *контрол на стойностите на ЕМП* и на различните показатели за времето на експеримента: интензитети, време на облъчване, модулация, поляризация, честота и т.н.
6. Експериментите трябва да бъдат извършвани *при пълна безопасност на изследователите и на доброволците*.
7. В случаите, когато доброволците се подлагат на реално и мнимо облъчване, трябва да се провеждат *слепи и двойно слепи експерименти*, с цел да не се влияе на резултатите.

Полезно е да се направят *предварителни личностови психологични тестове на доброволците* както за тяхното психично състояние, така и за отношението им към експерименталните резултати.

Тук ще направим някои **препоръки по методите за оценка на резултатите** от биологичните експерименти с ЕМП.

Съществено значение за дизайна на изследването, както и за адекватността и точността на получените резултати има използваната *методология за оценка на въздействието*. Преди всичко прилаганите методи за изслед-

ване трябва да бъдат подбрани така, че да са *достатъчно информативни* за целта, която си поставя изследователят. Важен елемент при подбора на методите е те да са достатъчно чувствителни, особено когато изследваме нискоинтензивни лъчения и очакваме малки изменения във физиологичните или други биологични показатели.

Не трябва да се забравя, че при облъчване с ЕМП освен термичните ефекти, можем да очакваме и други промени, свързани с проява на адаптационни или компенсаторни реакции на организма, неговите органи и системи. В случаите, когато се търсят прагове на въздействието, трябва да се прави граница между *биологично и вредно действие на ЕМП; също и между праговете на адаптация, компенсация от една страна, и на патология от друга.*

Най-информативните показатели в областта на вредното действие на ЕМП върху човека са следните:

- нарушения във висшата нервна дейност;
- нарушение в обмяната на веществата;
- нарушение във функциите на жлезите с вътрешна секреция;
- стабилни промени във функциите на сърдечносъдовата система (дистонии, изменения в ЕКГ и др.);
- нарушение във функцията на стомаха (признаци на гастрит);
- продължителна промяна на кръвните елементи;
- изразено намаляване на устойчивостта към инфекции и други фактори на средата;
- нарушения в хормоналната функция на организма.

Безусловни показатели за нарушения в организма от въздействие на микровълни са катарактата на очите, дегенерация на епитела в тестисите, в стомаха.

Точно тук трябва да споменем, че понякога е почти невъзможно да се прехвърлят данни, получени от експерименти с животни, върху човека. Още при планирането на изследване-

то е необходимо да преценяваме дали съответните резултати от проучване на промени върху централната нервна система или върху други системи и органи в организма на животното, могат да имат аналог при човека.

Само като пример, в областта на микровълните, едно изследване върху животно с определена λ , може да се прехвърли като резултат върху човека, само ако се отнася до кратно по-ниска честота, колкото е съотношението на размерите на човека спрямо животното. Това особено много важи за изследвания, свързани с оценка на погълнатата енергия в организма. Колкото е по-малък биологичният обект, при еднакви други условия (включително и биофизични параметри), толкова по-голяма е специфичната погълната мощност в сравнение с човешкия организъм.

При това е ясно, че достигането на „равни биологични ефекти“ при подобни изследвания е много трудна задача за експериментатора.

Точно това е причината за получаването на толкова противоречиви резултати от различни учени в света. ***Прилагането на неадекватен дизайн на изследването води до също такива неадекватни резултати.*** Понякога само неправилната или неточната експозиция по време на изследването или само неясноти по отношение на стойностите на погълнатата енергия от биообекта, може да доведе до лоши резултати или до неправилна интерпретация.

Ние, в наши изследвания сме поставяли многократно необходимостта от разработването на „Методологичен справочник за изследователя“, който да бъде разпространен и да е основа за получаването на достоверни и сравними резултати от изследванията.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Принципы исследований биологического действия радиоволн, Методическое пособие, Ленинград, 1974.
2. BMJ (formerly British Medical Journal) on Case-control and cross-sectional studies
3. Contract Order Number F61775-01-WE022 - Criteria for Standards in the Field of Radiofrequency Radiation in some East European Countries. Standard Harmonization Worldwide, EOARD, USAF, Project manager Prof. Michel Israel, 2001.
4. Israel M. – Philosophy of Standards in Eastern Europe and Ideas for Standards Harmonization, Proceedings, Eastern European Regional EMF Meeting and Workshop “Measurements and Criteria for Standard Harmonization in the Field of EMF Exposure”, and WHO EMF Standards Harmonization Meeting, Varna, Bulgaria, Editors: M. Israel and M. Repacholi, Sofia, 2002, pp.67-73.
5. Petitti D. - Hormone replacement therapy and coronary heart disease: four lessons, International Journal of Epidemiology, 2004;33:461-463
6. Phillips B., C. Ball, D. Sackett, D. Badenoch, S. Straus, B. Haynes, M. Dawes (May 2001) - Levels of Evidence, Oxford Centre for Evidence-based Medicine. Retrieved on 2008-05-16.
7. Principles of Study of the Biological Effects of Radiowaves, Methodological Guide, Leningrad, 1974.
8. Schlesselman, J. - Case-Control Studies: Design, Conduct, Analysis, New York: Oxford University Press, 1982, xv + 354 pp.
9. “Sir Richard Doll: A life’s research“, BBC News, 22 June 2004.

ГЛАВА 10

Параметри, свързани с оценката на риска от въздействието на нейонизиращи лъчения върху човека

Необходимите параметри за оценка на електромагнитното въздействие в честотния обхват от постоянните полета до променливите ЕМП с честота 300 GHz върху човека могат да бъдат разделени по няколко основни критерия:

1. *Параметри на „падащото“ (излъченото от източника) електромагнитно поле.* Това са физичните характеристики на ЕМП в околната среда, а именно:
 - честота на излъчване f , Hz;
 - интензитет на електрическото поле E , V/m;
 - интензитет на магнитното поле H , A/m; плътност на магнитния поток B , T;
 - плътност на мощност (плътност на енергийния поток или вектор на Пойнтинг) S , W/m²;
 - енергия на електрическото W_E и на магнитното поле W_H , J;
 - поляризация, характеристики на модулация, нехомогенност, данни за импулсния характер на лъчението и т.н.
2. *Параметри за хигиенна оценка на въздействащото ЕМП върху човека.* Тези параметри зависят от метода на измерване, от изискванията на метрологичния контрол, както и от физичните характеристики на ЕМП:
 - обемна плътност на енергията U_E или U_H , J/m³;
 - енергетични параметри (с оценка на експозицията за работна среда):

$W_E = E^2 \cdot T, (V/m)^2 \cdot h$ (прилага се и при сумиране в 6-минутни периоди)

$W_H = H^2 \cdot T, (A/m)^2 \cdot h$ (прилага се и при сумиране в 6-минутни периоди)

$W_S = S \cdot T, (\mu W/cm^2) \cdot h$ (прилага се и при сумиране в 6-минутни периоди).

3. *Параметри на биологичния обект* и необходими за оценка на въздействието. Това са електрическите и магнитните характеристики на различните тъкани, органи, клетки, както и на организма като цяло:

- диелектрична константа ϵ , магнитна константа на средата μ , дължина на вълната в биологичната тъкан λ , коефициент на пропускане τ , коефициент на затихване α , дълбочина на проникване на ЕМП в тъканта $1/\alpha$, фазов коефициент, коефициент на отражение Γ , електрическа проводимост σ и други. Тези параметри се прилагат за целите на моделирането.

4. *Параметри за оценка на погълнатата електромагнитна енергия от биологичния обект.* Това са:

- специфичната абсорбция $SA, J/kg$, представляваща падащата енергия (dW), разсеяна или погълната в безкрайно малка маса (dm) (прилага се при импулсни ЕМП): $SA = dW/dm$;
- специфична погълната енергия за единица време (специфична погълната мощност - СПМ) $SAR, W/kg$; $SAR = d/dt (dW/dm)$. В практиката се прилагат величините „обща SAR “ (за цялостно облъчване), „максимална SAR “ (върхови стойности) и „частична SAR “ (за локално поглъщане на енергията).

Необходимите параметри на ЕМП, свързани с биологичния ефект, се определят въз основа на специфичните условия на взаимодействие. За да получим пълна информация за това взаимодействие, е необходимо да познаваме факторите, които му влияят по време на облъчването. За различните електромагнитни лъчения в работната среда, те имат своя определена специфика.

За постоянното и променливото магнитно поле, това са следните фактори:

а) *Параметри, свързани с източника на магнитното поле:*

- честота;
- модулация (импулсна, АМ, FM); време на нарастване и спадане на импулс, dB/dT ;
- поляризация;
- интензитет на полето $H, A/m$, плътност на магнитния поток (магнитна индукция) B, T ;
- форма на полето dB/dx (нехомогенност); изменения с времето, dB/dt ;
- свойства на околните материали (съдържание на метали и материали с висока магнитна проникваемост).

б) *Параметри, свързани с облъчването:*

- свойства на тъканите (проводимост, анизотропия, диелектрична проникваемост, магнитни характеристики);
- размери, геометрия на биологичния обект;
- ориентация спрямо поляризацията и ориентацията на силовите линии на полето;
- тип на облъчването (частично, цяло тяло).

в) *Външни (допълнителни) фактори:*

- имплантирани метални предмети (ферромагнити, кардиостимулатори);
- метални обекти в полето;
- лекарства, поети от човека;
- химични вредности.

Отделно, много важни характеристики са времето на облъчване (експозицията), състоянието на организма, наличието на други обекти в помещението, и т.н.

За оценка на ефекта от въздействие на постоянните и нискочестотните полета е

много важно да се определят индуцираните токове в тъканите, както и разпределението на полето вътре в тях. Засега това е сложен и нерешен въпрос за практиката, но се прилагат теоретични модели, за оценка на плътността на електричния ток j , $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ в „критични“ органи и тъкани.

При оценката на **електрически полета - електростатични и свръхнискофреkwотни**, към описаните фактори, свързани с оценката на магнитното поле, трябва да се прибавят още:

- влияние на микроклиматичните условия (особено относителната влажност на въздуха при въздействие с ЕСП);
- интензитет на електрическото поле E , V/m ;
- електричен заряд на излъчващата и на облъчваната повърхност Q , C (при ЕСП);
- наличие на синтетични материали в помещението (при оценката на ЕСП);
- връзка между облъчвания обект и земя (заземление);
- честота на електричното поле f , Hz и т.н.

Измерването на **електромагнитното поле в ниско- и радиочестотния обхват**, поради резонансния характер на въздействието, изисква оценката и на други фактори, свързани с биологичния ефект. Близостта на работните места до излъчвателите (0,2-1 m) и големите дължини на вълните в РЧ диапазон (от 300 km до 1 m) определят облъчването на оператора като такова в нехомогенно поле и в близката (индукционната) зона. Това поставя изискването за поотделно измерване на двете компоненти на полето - E , V/m и H , A/m или (B, T) .

Освен това силното влияние на експозицията и на честотата на излъчваното ЕМП води до необходимостта за определяне и на някои допълнителни параметри:

- време на облъчване (експозиция) - T , h ;
- енергетична доза поотделно за електричното поле W_E :

$$W_E = E^2 \cdot T, (\text{V}/\text{m})^2 \cdot h$$

и за магнитното поле

$$W_H = H^2 \cdot T, (\text{A}/\text{m})^2 \cdot h;$$

- погълната електромагнитна енергия - SAR, W/kg (специфична погълната енергия за единица време в единица живо тегло).

В **микровълновия обхват** дължината на вълната е $\lambda = 1 \text{ m} - 1 \text{ mm}$, поради което облъчването на човека се извършва в близката (индукционната) зона – при честоти до 6 GHz и в далечната (вълновата) зона при честоти 6 GHz – 300 GHz. Параметрите за оценка на въздействието са:

- плътността на енергийния поток (ПЕП) или плътността на мощност (ПМ) S , $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (в близката зона при честоти 100 kHz – 6 GHz);
- експозицията, T , h ;
- енергетичното натоварване на организма:
 $W_S = S \cdot T, (\mu\text{W}/\text{cm}^2) \cdot h$;
- специфичната абсорбирана мощност, SAR, W/kg (при честоти над 100 kHz до 6 GHz).

Във всички описани диапазони наличието на сложно ЕМП, съдържащо хармонични или широк обхват от честоти, а също и модулация, води до необходимостта от оценка на допълнителни параметри на полето по време на въздействие, като например:

- информационните характеристики на импулса;
- характеристики на модулация;
- форма на сигнала;
- средни интензитети;
- пикови стойности на полето и т.н.

Параметрите на ЕМП, необходими за оценка на риска, се определят по изчислителен път или чрез измерване.

По-долу са описани подробно параметрите, които са приети от Международната организация по защита от нейонизиращи лъчения (ICNIRP) и които се възприемат от страните-членки на ЕС и други страни в света като национални законодателства. В Европейската директива за работната среда и Препоръката за защита на населението се изисква определянето на следните два типа параметри на ЕМП:

Основни ограничения (ОО); у нас въведени като „гранични стойности на експозиция“ (ГСЕ)

Основните ограничения се определят чрез следните физични величини:

1. магнитна индукция на външното магнитно поле (**B, T**) при полета с честоти 0 до 1 Hz;
2. вътрешно електрическо поле (**E, V/m**) при честоти от 1 Hz до 10 MHz;
3. плътност на индуцирания ток в човека (**J, A/m²**), в честотния обхват от 0 Hz до 10 MHz, за защита от въздействието на електромагнитни полета върху нервната система;
4. специфична погълната мощност (**SAR, W/kg**), в честотния обхват от 100 kHz до 10 GHz, за защита от цялостен топлинен стрес и от локализирано загряване на тъкани;
5. специфична погълната енергия (**SA, J/kg**), в честотния обхват от 300 kHz до 10 GHz, за защита от явлението „микровълнов слух“ при локално облъчване на главата на човека;
6. плътност на мощността (**S, W/m²**), в честотния обхват от 10 GHz до 300 GHz, за предпазване от крайно загряване на тъкани на или близо до повърхността на тялото.

В честотния обхват от 100 kHz до 10 MHz се прилагат едновременно основни ограничения за плътността на индуцирания ток в човека (**J, A/m²**) и за специфичната погълната мощност (**SAR, W/kg**).

Плътността на мощност и магнитната индукция във въздух, извън човешкото тяло, са единствените величини от основните ограничения, които могат да се измерват директно.

Референтни стойности (РС); у нас въведени като „стойности за предприемане на действие“ - СПД

Референтните стойности се определят чрез следните физични величини:

1. интензитет на електрическото поле (**E, V/m**), в честотния обхват от 0 Hz до 300 GHz;
2. плътност на магнитния поток (магнитна индукция) (**B, μT**), в честотния обхват от 0 Hz до 300 GHz; интензитет на магнитното

поле (**H, A/m**), в честотния обхват от 0 Hz до 300 GHz;

3. плътност на мощност (**S, W/m²**), в честотния обхват от 6 GHz до 300 GHz;
4. еквивалентна плътност на мощност за плоска електромагнитна вълна (**S_{eq}, W/m²**), в честотния обхват от 100 kHz до 300 GHz, която се прилага за оценка на плътността на мощност за вълнова (далечна) зона, където вълновият импеданс е равен на вълновото съпротивление на въздушната среда.

За честотния обхват от 0 до 110 MHz, физичните величини за определяне на референтни стойности за контактни и индуцирани токове в човека са:

- максимална сила на постоянен контактен ток (**I, mA**) при допир до метален обект, в честотния обхват от 0 Hz до 10 MHz;
- максимална сила на индуцирания ток през крайниците на човека (**I, mA**), в честотния обхват от 10 MHz до 110 MHz.

Препоръката на ICNIRP изисква да има съответствие на основните ограничения (ОО) с референтните стойности в зададен честотен подобхват. Това съответствие се изисква във връзка с необходимостта биологичните ефекти от електромагнитното въздействие да бъдат оценявани по основните ограничения.

ОО и ПДС се съпоставят в рамките на честотни подобхвати, $\Delta f_i = f_{\min,i} \div f_{\max,i}$, където $f_{\min,i}$ и $f_{\max,i}$ са съответно долна и горна граница на честотния подобхват, в който се съпоставят величините, i определя индекса на подобхвата, в който се извършва изчислителната процедура за съответствие между ОО и ПДС.

Основните ограничения и референтните стойности са съпоставими в следните граници:

А. Честотен подобхват: ОО РС

$$\begin{array}{cc} \Delta f_i & \left[\begin{array}{c} \vec{E} [V/m] \\ \vec{J} [A/m^2] \\ \vec{H} [A/m] \end{array} \right] \\ 0 \text{ Hz} \div 1 \text{ MHz} & \end{array}$$

а. Цялостелно облъчване (съответно поглъщане)

Процедурата на съответствие се осъществява като РС се умножат с величини, чиито стойности съответстват на прехода “въздушно-еквивалентна среда - човешко тяло”:

$$|\vec{J}| = \sigma^{-1} \cdot A_e^{-1/2} \cdot |\vec{E}| \cdot K_e ;$$

$$|\vec{J}| = \sigma^{-1} \cdot A_e^{-1/2} \cdot |\dot{Z}| \cdot |\vec{H}| ,$$

където

σ - проводимост на въздушно-еквивалентна

среда, $[\sigma] = \Omega^{-1} = [Z]^{-1}$;

A_e - ефективната площ на човешкото тяло в зависимост от честотата f в съответния

подобхват, $f \in \Delta f_1$; $[A_e] = m^2$;

$\dot{Z}$ - комплексен вълнов импеданс;

K_e - геометричен фактор, който оценява формата, размера и ориентацията на тялото на човека в ЕМП (описан е в цитирания стандарт на CENELEC ENV 50166-2.

б. Облъчване на части от тялото (респ. локално поглъщане)

Когато се разглежда част от тялото, за която е добре дефинирано средно или номинално сечение с радиус $R_{g(b)}$, при преобладаваща средна специфична плътност на тъканите, то връзките между величините са:

$$|\vec{J}| = \sigma^{-1} \cdot R_{g(b)} \cdot |\vec{E}| ;$$

$$|\vec{J}| = \sigma^{-1} \cdot R_{g(b)} \cdot |\dot{Z}| \cdot |\vec{H}| .$$

Б. Честотен подобхват: ОО ПДС

		$ \vec{E} [V/m]$
$\Delta f_1; \Delta f_2$	$ \vec{J} [A/m^2]$	$ \vec{H} [A/m]$
$0 \div 10 \text{ MHz}$		$ \vec{B} [\mu T]$

Когато измерването съответства на геометрия на затворен контур или калибровката на измервателния апарат е извършена по отделните компоненти на полето - по елек-

тричен и/или магнитен интензитет/магнитна индукция, както и за целия поддиапазон

$\Delta f_2 \subseteq [1 \text{ MHz} \div 10 \text{ MHz}]$, то имаме възможност да ползваме процедура на съответствие по електрическа индукция $\vec{D}$ и по магнитна индукция $\vec{B}$ или по изчисления, включващи електрическите и магнитните характеристики на хомогенна биологична тъкан - диелектричната проникваемост ϵ - абсолютна ϵ_0 и относителна ϵ_r , и респективно магнитната проникваемост - абсолютна μ_0 и относителна μ_r .

а. Целотелесно облъчване и на части от тялото (виж А)

При налични данни за интензитета на електрическото поле **ОО** се определят по формулите:

$$|\vec{J}| = \pi \cdot R_{g(b)} \cdot \sigma \cdot |\epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}|$$

$$|\vec{J}| = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \sqrt{A_e} \cdot \sigma \cdot |\epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}|$$

При налични данни за интензитета на магнитното поле или на плътността на магнитния поток се прилагат следните формули:

$$|\vec{J}| = \pi \cdot R_{g(b)} \cdot f \cdot \sigma \cdot |\vec{B}|$$

$$|\vec{J}| = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot \sqrt{A_e} \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot |\vec{H}|$$

$$|\vec{J}| = \sqrt{\frac{\pi}{4}} \cdot \sqrt{A_e} \cdot f \cdot \sigma \cdot |\vec{H}| ,$$

като $[R_{g(b)}] = m$; $[A_e] = m^2$; $[f] = \text{Hz}$;

$[\sigma] = \Omega^{-1}$; $[\epsilon] = F/m$; $[\mu] = H/m$

В. Честотен подобхват: ОО РС

		$ \vec{E} [V/m]$
Δf_3	$ \text{SAR} [W/kg]$	$ \vec{H} [A/m]$
$10 \text{ MHz} \div 6 \text{ GHz}$		$ \vec{B} [\mu T]$
		$ \vec{S} [W/m^2]$

Тук новата величина, която трябва да се определя като **ОО**, е **SAR**.

б. По отношение на $|SAR|$ съществуват следните връзки между основните ограничения $|SAR|$ и $|\vec{J}|$, и РС:

$$|SAR| = \frac{\sigma}{\rho} |\vec{E}_b|^2;$$

$$|SAR| = c_b \frac{dT}{dt};$$

$$|SAR| = \frac{1}{\rho \sigma} |\vec{J}|^2,$$

където индексът "b" се отнася до биологична тъкан в тялото, която е най-чувствителна към въздействието в този честотен подобхват, величините са както следва:

$E_b[V/m]$ - интензитет на електрическото поле в тъканта от човешкото тяло;

$\sigma[s/m]$, $[1/\Omega]$ - проводимост на същата тъкан;

$\rho[kg/m^3]$ - специфична плътност на същата тъкан;

$T[degC]$ - температурата в същата тъкан;

$t[s]$ - време за нарастване на температурата на тъканта;

$\frac{dT}{dt} [deg C/s]$ - производна по време на температурата в същата тъкан;

$J[A/m^2]$ - плътност на индуцирания ток в тялото;

$c_b[J/kg deg C]$ - топлинен капацитет на същата тъкан.

Използването на интензитетите или индукциите е допустимо, но тук вече се намесва и зависимостта на ϵ и μ от честотата.

Понеже: $|\vec{S}| \cong \frac{1}{2} |\vec{E}|^2$,

то в сила е процедурата за съответствие

$$|SAR| \approx \sigma |\vec{S}|.$$

г. Честотен подобхват: ОО РС

$$\begin{array}{ll} \Delta f_3 & |\vec{S}| [W/m^2] \\ 6 \text{ GHz} \div 300 \text{ GHz} & \begin{array}{l} |\vec{E}| [V/m] \\ |\vec{H}| [A/m] \\ |\vec{B}| [\mu T] \\ |\vec{S}| [W/m^2] \end{array} \end{array}$$

По отношение на основното ограничение $|\vec{S}|$ са приложими следните процедури на съответствие:

$$|\vec{S}| = |\vec{S}| = |\vec{E} \times \vec{H}|;$$

$$|\vec{S}| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} |\vec{E}|^2;$$

$$|\vec{S}| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} |\vec{H}|^2;$$

$$|\vec{S}| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\epsilon}{\mu}} \frac{|\vec{D}|^2}{\epsilon^2};$$

$$|\vec{S}| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{|\vec{B}|^2}{\mu^2};$$

тук $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$
 $\mu = \mu_0 \mu_r$

При честоти над 6 GHz се приема, че разглежданията са във вълновата зона. Това означава, че в свободно пространство се разпространява плоска (монохроматична) вълна със синусоидално променящо се електрично поле. Характеристика за оценка на електромагнитната енергия в тази зона е $\vec{S}$: Върху плосък участък от биологичната тъкан попада външен поток $\vec{S}$ и се преобразува, вследствие на отражение и относително слабо разсейване (което определя при други равни условия размерите на плоския участък), и поглъщане във вътрешен поток, описван чрез $\vec{S}_b$.

Тогава ОО и РС са $|\vec{S}|$ и $|\vec{S}|$ т.е. процедурата на съответствие е от вида:

$$|\vec{S}| = \eta |\vec{S}|,$$

където η е безразмерен коефициент на пропорционалност, т.е. $\eta \leq 1$ и представлява инверсно отношението на падащото във въздушно-еквивалентна среда електромагнитно поле към погълнатото в тъканта; стойностите на η са дадени в цитираната литература (стандарт).

Условия за извършване на процедури по съпоставяне. Неопределеност.

1. При всички случаи се изисква да няма нарастване на телесната температура, определяна чрез ректалната такава и/или температурата в тъканта - мишена над $+1^\circ\text{C}$.
2. ОО и РС, в съответните поддиапазони Δf_r , се различават с някаква цяла част и коефициент, който по смисъл е наклонът на линейната зависимост, което води до следното представяне:

$$\frac{p}{q} \text{ОО} - 1 = \text{РС},$$

където p и q са числени коефициенти и $p \leq q$. Следователно, основната неопределеност съдържа следната зависимост

$$u_c \approx \sqrt{\frac{p^2}{q^2}} \sqrt{\sum D(PC) \left(\frac{\partial(PC)}{\partial \arg(PC)} \right)^2}; \quad p \leq q,$$

където

$D(PC)$ е вторият централен момент, т.е. квадратът на средноквадратичната грешка;

$\arg(PC)$ са величините, от които зависи функционално РС.

3. Няма принципна разлика между съпоставянето на ОО и РС, както и на РС с измерените величини (или пресметнатите такива).
4. Основната неопределеност е предмет на методиките за провеждане на измерванията и задаването на ПДС.

Оптични полихроматични лъчения

Необходимите параметри за оценка на оптичните полихроматични лъчения (ЕМП с честота над 300 GHz) върху човека могат да бъдат разделени по няколко основни критерия:

1. Фундаментални величини

- дължина на вълната – λ , nm
- мощност на оптичното лъчение – мощността, която е излъчена, пренесена или погълната под формата на лъчение, Φ , W

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

- енергия на оптичното лъчение - интегралът по времето от лъчистия поток за даден интервал от време Q, J

$$Q = \int_{\Delta t} \Phi dt$$

2. Величини, използвани в граничните стойности на експозиция за оптични лъчения

- Плътност на мощност (облъченост) – отношението на лъчистия поток $d\Phi$, падащ върху елемент от повърхност, съдържащ точката, към площта на елемента dA , E, Wm^{-2}

$$E = \frac{d\Phi}{dA}$$

- Енергетична доза (количество облъченост) - H, Jm^{-2}

Отношението на лъчистата енергия dQ , падаща върху елемент от повърхност съдържащ точката, за дадено време, към площта на елемента dA :

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad \text{или}$$

Еквивалентно на интеграл от плътността на мощност E в дадена точка за дадено време Δt

$$H = \int_{\Delta t} E \cdot dt$$

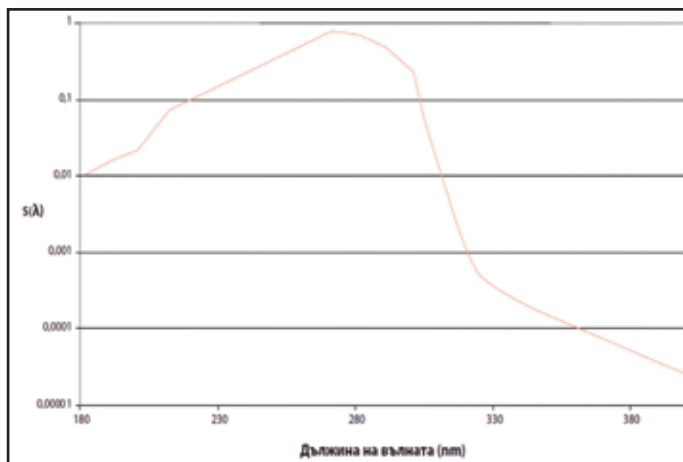
- Плътност на мощност в единица пространствен ъгъл (лъчиста яркост) – L, $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$

$$L = \frac{d\Phi}{dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega} \quad ,$$

където $d\Phi$ е лъчистата мощност (лъчистият поток), предаван от елементарен сноп, преминаващ през дадена точка и разпространяващ се в пространствен ъгъл $d\Omega$, съдържащ дадената посока; dA е площта на сечението на снопа, съдържащо дадената точка; θ е ъгълът между нормалата към това сечение и посоката на снопа.

Фигура 6. Тегловна функция за риск от ултравиолетово лъчение, $S(\lambda)$

Граничните стойности на експозиция за оптични лъчения вземат предвид биологичната ефективност на лъчението за причиняване на увреждане, която е различна за различните дължини на вълната. Всички разгледани в т. 2 величини, обаче, са радиометрични величини. Те могат да дадат само количествена оценка на лъчението, която не е непременно индикатор за ефектите на лъчението върху биологичната мишена. Поради тази причина много от граничните стойности на експозиция за оптичните лъчения са изразени в биологично ефективни величини.



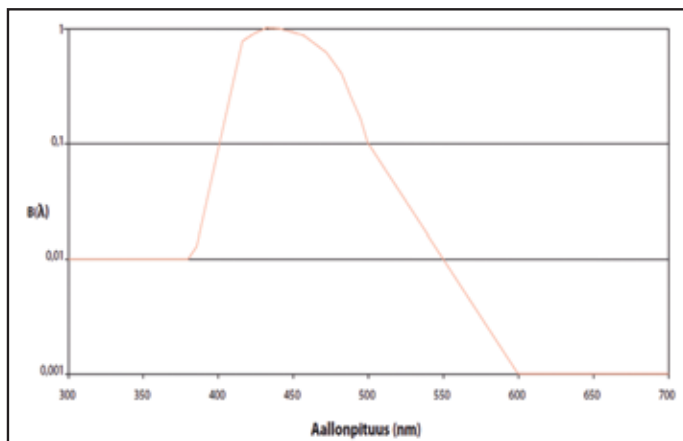
Източник: Non-binding guide..., Directive 2006/25/EC

3. Биологично ефективни величини

В зависимост от механизма на взаимодействие, ефективността на оптичното лъчение за причиняване на вреден ефект може да зависи силно от дължината на вълната. За отчитане на тази зависимост се дефинира понятието „активен спектър“, което определя дължините на вълната на оптичното лъчение, които са най-ефективни при предизвикване на даден биологичен ефект. Активните спектри се използват за спектрално претегляне на величините, характеризиращи експозицията. Претеглените величини се разглеждат като „ефективни“ величини и се използват за оценка на експозицията от източниците на оптично лъчение. Функциите, отразяващи активните спектри за установените биологични ефекти, използвани за получаване на ефективните стойности на изследваните величини, са както следва:

- в диапазона от 300 до 700 nm – спектрална тегловна функция за риск от „синя светлина“, $B(\lambda)$, отразяваща фотохимичните ефекти от ултравиолетовото и видимото лъчение върху ретината;

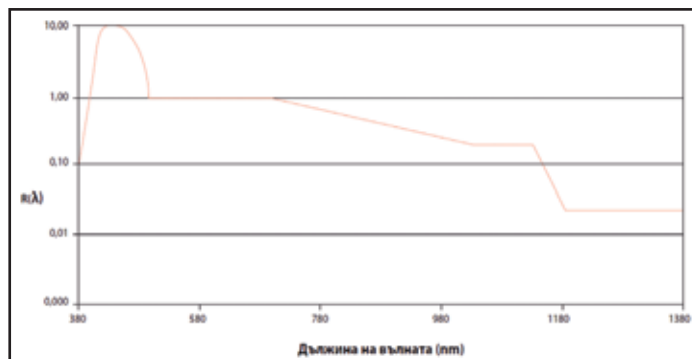
Фигура 7. Тегловна функция за риск от „синя светлина“, $B(\lambda)$



Източник: Non-binding guide..., Directive 2006/25/EC

- в диапазона от 180 до 400 nm - функция за риск от ултравиолетово лъчение $S(\lambda)$, отразяваща комбинирано острите ефекти от UV лъчение върху очите и кожата;
- в диапазона от 380 до 1400 nm - функция за риск от термично увреждане на ретината, $R(\lambda)$, отразяваща термичните ефекти на видимото и инфрачервеното лъчение върху ретината.

Фигура 8. Тегловна функция за риск от термично увреждане на ретината, $R(\lambda)$



Източник: Non-binding guide..., Directive 2006/25/EC

Основните биологично ефективни величини, които се използват в нормативните документи за защита на човека от оптични лъчения и в частност Наредба № 5/2010 г. (Директива 2006/25/EC), са както следва:

E_{eff} - ефективна плътност на мощност/облъченост (ултравиолетовата рискова плътност на мощност) – изчислената/спектрално претеглена плътност на мощност за диапазона дължини на вълната от 180 до 400 nm, спектрално претеглена спрямо $S(\lambda)$, Wm^{-2} ;

H_{eff} - ефективна енергетична доза - енергетична доза, спектрално претеглена спрямо $S(\lambda)$, Jm^{-2} ;

E_{UVA} - пълна (тоталната) плътност на мощност (UVA) - изчислена плътност на мощност в UVA диапазон, Wm^{-2} ;

H_{UVA} - енергетична доза в UVA диапазон, Jm^{-2} ;

L_R - ефективна плътност на мощност в единица пространствен ъгъл (ефективна лъчиста яркост) (термично увреждане) - изчислена плътност на мощност в единица пространствен ъгъл, спектрално претеглена спрямо $R(\lambda)$, $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$;

L_B - ефективна плътност на мощност в единица пространствен ъгъл/ефективна лъчиста яркост (синя светлина): изчислена плътност на мощност в единица пространствен ъгъл, спектрално претеглена спрямо $R(\lambda)$, $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$;

E_B - пълна (тотална) плътност на мощност (синя светлина): изчислена плътност на мощност, спектрално претеглена спрямо $B(\lambda)$, Wm^{-2} ;

E_{IR} - пълна (тотална) плътност на мощност (термично увреждане) - изчислена плътност на мощност в инфрачервения диапазон от 780 до 3000 nm, Wm^{-2} ;

E_{skin} - пълна (тотална) плътност на мощност (видима светлина, IRA и IRB) - изчислена плътност на мощност във видимия и IR диапазон от 380 до 3000 nm, Wm^{-2} ;

H_{skin} - енергетичната доза във видимия и инфрачервения диапазон от 380 до 3000 nm, Jm^{-2} .

Пример за биологично ефективна величина, за която не е въведена гранична стойност за експозиция в описаните нормативни документи е яркост на източник, L_v , cd.m^{-2} . Биологичният ефект, който тази величина отразява, е осветеността, както се вижда/възприема от адаптирано към дневна светлина око (осветеност, претеглена спрямо функцията за „дневно виждане“ на човешкото око).

$$L_v = \frac{E_v}{\omega}$$

Където E_v е осветеността, lx.

Тази величина се използва като критерии в препоръките на ICNIRP. Установено е, че не е необходимо да се извършва пълна спектрална оценка на риска за ретината от източник на „бяла светлина“, който има яркост $< 10^4 \text{cd.m}^{-2}$.

4. Величини, свързани с големината на източника и геометрията на облъчване

- Ъглов размер на източника на оптично лъчение –видима ширина на даден обект (източник на оптично лъчение) както се наблюдава в точка от пространството (обикновено точката, в която се извършва измерването). Изчислява се чрез разделяне на действителната ширина на обекта на разстоянието до него α , rad;

- Пространствен ъглов размер – триизмерен еквивалент на ъгловия размер, изчислява се като площта на обекта се разделя на квадрата на разстоянието ω , srad.

5. Параметър, използван при оценката на оптичните лъчения

- опасно разстояние/опасна стойност, които дефинират разстоянието на което нивото на експозиция намалява до нивото на приложимата ГСЕ. Опасните разстояния могат да бъдат определени за експозиция на очите или кожата.

Опасната стойност (ОС) представлява съотношението на нивото на експозиция на определено разстояние към граничната стойност на експозиция за това разстояние:

$$\frac{\text{ОС}}{(\text{разстояние, време на експозиция})} = \frac{\text{Ниво на експозиция}}{(\text{разстояние, време на експозиция}) / \text{гранична стойност на експозиция}}$$

Ако опасната стойност ОС е по-голяма от 1, са необходими указания за мерките за контрол като ограничаване на продължителността на експозицията или достъпа до източника (затихване, разстояние), което е приложимо. Ако ОС е по-малко от единица, ГСЕ не е надвишена на изследваното място за разглежданото време на експозиция.

Оптични монохроматични (лазерни) лъчения

Необходимите параметри за оценка на оптичните лазерни лъчения върху човека могат да бъдат разделени по няколко основни критерия:

1. Фундаментални величини

- дължина на вълната – λ , nm
- мощност на лазерното лъчение – P, W
- енергия на лазерното лъчение - Q, J

2. Величини, използвани в граничните стойности на експозиция за оптични лъчения:

$E(t)$, E - плътност на мощност (облъченост) на лазерно лъчение - мощност на лъчението, падаща на единица площ от повърхност, Wm^{-2}

$$E = \frac{dP}{dA} ,$$

където dP е мощността, W; dA - повърхността, m^2 .

H - енергетична доза/плътност на енергията (количество облъченост) - интеграл по времето от плътността на мощност, Jm^{-2}

$$H = \int_0^t E(t) . dt$$

Тук t е продължителност на експозицията, s;

При определяне на ГСЕ за разходящо или дифузно отразено лъчение за лазери с непрекъснат режим на излъчване е приложима и плътността на мощност в единица пространствен ъгъл, дефинирана по-горе, а за лазери с импулсен режим на излъчване и интегрираната плътност на мощност в единица пространствен ъгъл (интегрирана лъчиста яркост) – G;

G - интегрираната плътност на мощност в единица пространствен ъгъл представлява интеграл от плътността на мощност в единица пространствен ъгъл за дадено време на облъчване, изразено като лъчиста енергия на единица площ от излъчващата повърхност на единица пространствен ъгъл на излъчване, $G, Jm^{-2}sr^{-1}$.

3. Геометрични величини, свързани със спецификата на лазерните източници

- граничният ъгъл на конуса на зрителното поле, γ , mrad; (граничен ъгъл на наблюдение - този ъгъл на наблюдение, който разграничава облъчването на очите с колимиран сноп лъчи от точков източник от облъчването с разходящ или дифузно отразен сноп лъчи);
- зрително поле на измерване, γ_m , mrad;
- ъглов размер на източника - ъгълът, който се заема от видимия източник, както се наблюдава в точка от пространството, α , mrad;

Заб: Видим източник е реалният или виртуален обект, който формира най-малкия възможен образ върху ретината.

- гранична апертура - кръгла площ, върху която се осредняват плътността на мощност и енергетичната доза;

- разходимост на снопа, rad - увеличаване на диаметъра на лазерния сноп с увеличаване на разстоянието от изходния отвор на източника. Разходимостта може да се определи като отношение между: разликата на два диаметъра на снопа по протежението му към разстоянието между точките на измерването им.

4. Номинално разстояние за опасност за очите NOHD

На известно разстояние, поради разходимостта на лазерния лъч, плътността на мощност ще бъде равна на граничната стойност за експозиция на очите. Това разстояние се нарича номинално опасно разстояние за очите (NOHD). NOHD може да се изчисли като се използват следните параметри за лазерното лъчение от данните на производителя:

- Мощност, W;
- Диаметър на изходната апертура, m;
- Разходимост, rad;
- Гранична стойност на експозиция (ГСЕ), $W.m^{-2}$.

Ако разстоянието до източника е голямо или снопът не е с кръгла форма изчислението на NOHD може да е сложно. Въпреки това, следното уравнение дава добра оценка за NOHD:

$$NOHD = \frac{\sqrt{\frac{4 \times \text{мощността}}{\pi \times \text{ГСЕ}}} - \text{диаметър на изх. апертура}}{\text{разходимост}}$$

На разстояния, по-големи от NOHD, ГСЕ не се надвишават.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Наредба № 5 за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на изкуствени оптични лъчения, ДВ бр. 49, 2010
2. CRC: Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields, Eds. Ch. Polk & Elliot Postow, CRC-Press Inc., Boca Raton, Florida, 1988
3. Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics 87 (2): 171-186; 2004.
4. Directive 2006/25/EC of the European parliament and of the council of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)
5. EN 14255-4:2007: Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation - Part 4: Terminology and quantities used in UV-, visible and IR-exposure measurements
6. ENV 50166-2: Human Exposure to Electromagnetic Fields. High-frequency (10 kHz to 300 GHz), 1995
7. Exposure metrics and dosimetry for EMF epidemiology, Proceedings of International Workshop, NRPB, UK., Editors: A. McKinley, M. Repacholi, 1999.
8. ICNIRP: Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic fields (up to 300 GHz), ICNIRP Guidelines, Health Physics, Vol. 74, Number 4, April 1998
9. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 μm ; Health Physics 105(3):271-295; 2013
10. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to incoherent visible and infrared radiation, Health Physics 105(1):74-96; 2013
11. Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC „artificial optical radiation“, ISBN: 978-92-79-16046-2; DOI: 10.2767/74218
12. Session C: Theoretical Dosimetry, Chair O.P. Gandhi, Radio Frequency Radiation Dosimetry and its Relationship to the Biological Effects Electromagnetic Fields, Eds. B. Jon Klauenberg & Damijan Miklavcic, Kluwer Academic Publishers, 2000.

ГЛАВА 11

Хигиенно нормиране. Прагове на въздействие на НЙЛ. Стандарти. Дефиниции. Биологични критерии. Базови норми. Референтни стойности. Коефициенти на хигиенен запас. Енергетични и информационни крите- рии. Хармонизация на стандартите в света

1. История

Първият стандарт в България за ЕМП в работна среда е публикуван още през 1971 г. Той въвежда много ниски хигиенни норми, а именно: 20 V/m за интензитета на електрическото поле, и 5 A/m за магнитното, за честоти от 100 kHz до 300 MHz, както и 10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ за обхвата на микровълните (над 300 MHz). Тези пределно-допустими нива са взаимствани директно от бившия Съветски съюз. За сравнение, по това време в САЩ има хигиенни норми само за честотния обхват 100 MHz – 300 GHz, и то стотици пъти по-високи от тези приети у нас. През следващите години тези норми са претърпели доста изменения. Сега, близо 45 години след първите стандарти у нас, хигиенните норми изглеждат много различно от тях, както по параметрите, които се нормират, така и по самите гранични стойности.

2. Понятията „норма” и „стандарт”

Тук бихме искали да направим едно сравнение между философията, които различни учени и изследователи, както и международни

организации прилагат при разработването на хигиенни норми за ЕМП в света. Като начало, нека дискутираме какво означава терминът „норма”, който се явява основа за създаването на „гранични стойности” или „стандарти”, както се наричат най-често в литературата.

Още през 1977 г. терминът е обсъждан от V.P.Petlenko и M.L.Reznik в Сборника, издаван от Московския институт по трудова хигиена.

Терминът „норма” не е нов за медицинската философия. Здравето и болестта, нормата и патологията са били основният фокус за медиците от времето на Хипократ и до наши дни. Могат да бъдат цитирани повече от 200 дефиниции за понятията „норма” и „патология”. Световната здравна организация е предоставила уникална дефиниция за понятието „здраве”, което е основа за разбиране на термините „норма” и „патология”:

„Здравето е състояние на пълно физическо, психическо и социално благополучие, а не само липсата на болест или недъг.”

Малко история... малко философия...

Още през 19-ти век ученият A.Kettle въвежда термина „среден човек” (в смисъл на средностатистически), като основа за ново научно мислене и въвеждането на статистика при оценката на параметрите на човешкия организъм. Този „среден човек” трябва да отговаря на средни физически, морални и интелектуални характеристики и всяко отклонение от него се счита за аномалия. Тази дефиниция подкова произхода на средностатистическото понятие „норма” и съответните философски подходи, като част от Кантовата теория за естетиката. Разбира се, с течение на времето, методите за количествена оценка преминават сложно развитие – от аритметичните средни стойности до данните, получени по вероятностен принцип чрез доказана статистическа достоверност.

В настоящия момент математическите методи позволяват определянето на различни параметри, свързани с човешкото здраве и активност, със значително добра прецизност. Въпреки това, дори сега, модерната теоретична медицина поставя една критична оценка

за средностатистическото разбиране за норма. Освен усредняването на физиологичните индикатори, средно статистическата оценка не отчита новото, което може да бъде доказателство за тенденция на развитие на живата система. Оценявайки „нормалното“, ние не оценяваме „абнормалното“ от гледна точка на прогресивното или регресивното развитие.

Обратният подход, базиран на индивидуалните физиологични характеристики на организма или на тяхното сравнение с така наречените „първоначални“ за възраст 20-25 години, също може да бъде подложен на критика.

Трудностите да се дефинира терминът „норма“ произлизат главно от сложността на взаимодействията в организма, както и с околната среда.

Успоредното прилагане на термините „норма“ и „стандарт“ също създава проблеми при оценка на взаимодействията. Нормата е обективна, динамична, индивидуална, кореспондираща на оптималния статус на организма. Терминът „стандарт“ е свързан с акт на взаимодействие (конвенция) между специалисти и се отнася до разработване на стандарти, модели, еталони, и е общоприет. Резултатът от субективизма при подходите за разработване на норми е, че разликите между хигиенните стандарти в различните страни достига десетки и стотици пъти.

В настоящия момент в т. нар. „стандарт“ се включва разнообразие от явления, което води до схеми, допускащи степенуването на едни или други процеси на взаимодействие. Степента на близост на граничните стойности (стандартите) до обективните норми може да зависи от мрежа от явления, описани или предвиждани от самия стандарт.

Стандартът отразява нивото на познание по отношение на субекта и на нормата, т.е. тяхното реално състояние. Следователно, задачата за създаването на научнообоснован стандарт е да се постигне максимално приближение до реалната норма.

Фактически не съществува такава наука като „нормология“. Въпреки това, тя има своя методология – от разбирането на понятието

„норма“, до пристъпването и разработването на система от философски принципи на теорията за нормите. Модерната нормотворческа теория трябва да компилира данни от физиката и инженерните науки, медико-биологичните и природните науки, социалните науки (последните особено много за юридическите, етични, естетични норми).

Не трябва да се забравя, че при промени в околната среда, възможностите на организма за адаптация и акомодация изостават спрямо тези изменения.

3. Философия на някои източноевропейски стандарти

Термини и дефиниции

„Риск“ е понятие, което е движеща сила за науката за разработване на гранични стойности за различни опасности, конкретно и за ЕМП. Тук нямаме намерение да се задълбочаваме в теорията на риска и да дискутираме пътищата и методите за оценка на риска. Бихме искали само да отбележим, като пример, какво представлява рискът от облъчване с йонизиращи лъчения: синоним на вероятност за вреден ефект. Има мнения в някои страни от Източна Европа да се прилага същият метод за определяне на граничните стойности за ЕМП. Като резултат, в някои страни се използват превантивни подходи, подобни на тези, прилагани за защита от йонизиращите лъчения. Едновременно с това, фундаменталната величина в радиационната защита е погълнатата доза. Това е абсорбираната енергия в единица маса, в единици J/kg, подобна на използваната за нейонизиращите електромагнитни лъчения - „специфична абсорбция“ – SA или SAR,t, също в единици J/kg.

Най-важният момент във философията на хигиенната наука при разработването на гранични стойности за ЕМП, е праговата концепция. Само за йонизиращите лъчения в последно време се дискутира дали да бъде прилаган безпороговият подход. Това значи, че в стандартите за ЕМП, навсякъде в света, се въвеждат „прагови гранични стойности“ (Threshold Limit Values - TLVs) и „максимално допустими стойности“ (Maximal Permissible Levels - MPLs).

Прагова гранична стойност (TLV) е „стойност на опасност, която води до периодичен ефект или за продължителността на целия живот на човека, без да предизвиква соматични или ментални разстройства (включително латентни или компенсирани с времето) или други промени в здравния статус извън границите на адаптационните реакции, и която може да бъде определяна чрез общоприети методи в съответен момент или за бъдещ период от живота на настоящо или бъдещо поколение.“ По този начин съответствието с TLV трябва да запазва (да се избегнат промени в) очакванията за средна продължителност на живота, параметрите на физическото развитие, състояние на висока активност на нервната система, трудоспособността, поведението, репродуктивната функция, капацитета на организма за адекватна адаптация към околната среда, биохимичните и функционалните константи.

За разлика от праговата гранична стойност (TLV), максимално допустимата стойност (MPL) повече е свързана с границата на експозицията, която може да доведе до неблагоприятен ефект при въздействие с ЕМП. Тази величина включва енергетичните характеристики на полето, които съдържат както измерените интензитети, така и времето на въздействие.

Типове стандарти

Един допълнителен въпрос във философията при разработването на стандарти е дали те да бъдат „едностъпкови“ или „двустъпкови“. Това означава да се прилагат различни критерии за защита на работниците и на населението.

Философията на привържениците на двустъпковата школа е свързана с факта, че работещите са запознати с риска, обучени са по отношение на възможните последици, прилагат различни превантивни мерки. За разлика от тях, населението е подложено на въздействие 24 часа, съдържа „раними“ групи, като възрастни хора, лица с хронични заболявания, бременни, майки кърмачки, подрастващи и др.

Едностъпковите стандарти се базират на философията, че човекът е един и същ в работната или в околната среда и не може да се прави разлика в праговете на въздействие, незави-

симо от времето на облъчване, възрастта или други параметри (пример: стандартите във Великобритания).

Концепцията на повечето страни в Европа и в света, включително на „Източноевропейската школа“ в нормирането, е да се въведат два типа гранични стойности: за работна среда и за населени места (за население). При това за двата типа експозиция се въвеждат различни „коефициенти на хигиенен запас“ („коефициенти/фактори на безопасност“). В цитираната източноевропейска школа се дискутира възможността от едно допълнително отделяне и на трета експонирана група: непрофесионална група (непряко заета с дейност, свързана с обслужване на източници на ЕМП), за която да се въведе фактор на безопасност, който да е между този за население и за работна среда. Облъчването на населението също се разделя на такова в жилището (в дома) и извън сградите (жилищен район), както и за места, където е възможна периодична експозиция (селскостопански земи, паркове и градини, места за отдих и т.н.).

Един различен пример, прилагащ двустъпковата философия, се съдържа в подходите, използвани в стандартите на Република Полша. Въвеждат се 3 зони за оценка на експозицията на различни части от населението: опасна, междинна и безопасна зона. Максималните приемливи нива (подобно на TLVs) се прилагат за опасната и междинната зони при определено време за пребиваване, различно за двете зони (напр. за междинната – повече от 2 часа).

Стандартът на Чешката Република, прилаган до 2001 г., също въвежда различна продължителност на облъчване: краткотрайно, средни временни интервали и продължително (хронично), прилагани за различни части от населението.

Настоящите стандарти на Руската Федерация за облъчване в работна среда въвеждат гранични стойности, които зависят от времето на въздействие (максимално допустими стойности – MPEs).

За почти всички стандарти, прилагани от източноевропейската школа, е характерен един общ подход: във всеки стандарт се въвежда

прагова гранична стойност (TLV), докато максимално-допустимата стойност (MPE) се определя в зависимост от времето на въздействие чрез пресмятане.

Методи за разработване на стандарти

За да представим ясно философията на източноевропейската школа за създаване на стандарти, ще развием тезата за хигиенно нормиране, публикувана от проф. Б.М.Савин от Московския институт по трудова медицина. Трябва да отбележим, че този подход е прилаган от бившите социалистически страни повече от 30 години, а и в настоящето бива прилаган в някои страни и се подлага на проверка от сериозни европейски научни колективи. Следвайки тази философия, при оценката на експозицията трябва да се имат предвид следните промени в биологичните системи:

1. качествени изменения в биологичните процеси;
2. количествени изменения в състоянието на биологичните процеси извън физиологичните стандартни нива, резултиращи в понижаване на компенсаторните възможности на организма като отговор на опасностите в околната среда или за преодоляване на необичайни психофизиологични условия;
3. явления на адитивност на ефекта от облъчване с кумулативни характеристики, водещи до изменения в биологичните процеси над допустимите количествени параметри, при хронично продължително въздействие.

В същата публикация е представена следната класификация на праговете на електромагнитно въздействие, дефинирани чрез биологични индикатори:

5	Зона на вреден ефект от облъчването
4	Зона на отдалечени ефекти
Праг на вреден ефект	
3	Зона на адаптационен отговор
2	Индеферентна зона
Праг на чувствителност към радиовълните (биологичен ефект)	
1	Подпрагови нива

Прилагайки методът на Prof. A.G.Subbota, който също е разпространен сред страните от Източна Европа за целите на разработването на хигиенни стандарти, най-информативните показатели за радиочестотно увреждане са следните:

- а. разстройства на ЦНС;
- б. потискане на газовия обмен;
- в. функционални разстройства от стомашна секреция (признаци за гастрит);
- г. маркирани функционални разстройства на сърдечносъдовата система (дистония, промени в ЕКГ);
- д. продължителни функционални промени и промени в състава на кръвните елементи;
- е. установено намаляване на устойчивостта към инфекции и към други фактори на околната среда (топлина, студ и други);
- ж. постоянни метаболитни разстройства;
- з. непрекъснати разстройства на хормоналните функции (менструални, промени в репродуктивните функции или на показателите на поколението).

Структурни промени в органи и системи, като възникването и развитието на катаракта, дегенерация на епитела на тестисите, язва и др., трябва да се считат за явни показатели.

Подобна е философията, представлявана от Киевската школа на Prof. Shandala, Московската на Prof. Paltzev, както и на други източноевропейски учени, занимаващи се с разработка на хигиенни норми. Може да се открият различия единствено в дефинирането на прага на вредния ефект (максимално-допустимото ниво), което се появява на различно място в представената по-горе скала на праговете.

Като пример, проф. Шандала, който е един от най-известните учени в областта на нормирането на ЕМП за населението, също препоръчва прилагането на 5 скали (прагове с повишаваща се експозиция) със следните наименования:

- а. праг на чувствителност (радиочувствителност, биологичен ефект);
- б. праг на адаптация;

- в. праг на компенсация;
- г. праг на регенерация;
- д. праг на патологията.

Като се има предвид, че между всеки два прага има „пространство“ на изменение на експозицията без да има качествени промени в организма, той препоръчва прагът (максимално-допустимата стойност) за населението да се приеме като стойност между прага на адаптация и прага на компенсация, докато този за работещите – между праговете на компенсация и регенерация.

За разлика от Киевската школа, Prof. Paltsev дефинира 3 зони на ефекти в организма:

- а. биологични ефекти (това са ефекти под праговете за неблагоприятен ефект);
- б. развитие на адаптационни и кумулативни процеси като манифестация на неблагоприятни ефекти в системите на организма;
- в. патология.

Максимално-допустимите стойности за вреден ефект при тази концепция трябва да бъдат на границата между зоната на активна адаптация и тази на патология. При това тази скала основно е приложима за разработване на прагове за облъчване в работна среда.

В случаите, когато при нормирането се взима предвид погълнатата енергия от организма, трябва да се прилага различна методология в зависимост от дължината на електромагнитната вълна, поради различното поглъщане от тялото:

- а. с дължина на вълната, значително превишаваща размерите на биологичния обект – при честоти до 30 MHz;
- б. с дължина на вълната, много по-малка от размера на тялото;
- в. с дължина на вълната, сравнима с размерите на тялото или с различни части или органи от него – при честоти от 30 MHz до 10 GHz и повече.

Граничните стойности за вреден ефект, получени на базата на екстраполация и изчислителни методи (чрез пресмятане на индуцираните токове, погълнатата енергия във фантоми), са

по-добро приближение до реалните прагове за неблагоприятен ефект, отколкото директното прехвърляне на данни от експерименти с животни върху човека. Несигурността при подобно приближение може да достигне до 50-100%, докато тази при екстраполация на данни от експерименти с животни достига до 1-2 порядъка.

Методите, които са прилагани от „източната школа“ при разработка на стандарти, включват широк комплекс от изследователски подходи: хигиенни, клиничко-физиологични, епидемиологични и експериментални. Едно кратко описание на тези методи е следното:

- хигиенни методи: оценка на параметрите на въздействие, включително на стойностите на ЕМП, времето на въздействие и др.;
- клиничко-физиологични методи: чрез оценка на ясно изразени вредни ефекти и промени във физиологичните функции;
- епидемиологични методи: за установяване на бъдещи (вторични) ефекти, както и за проверка на установените максимално допустими стойности;
- експериментални методи: за изследване на различни биологични ефекти от електромагнитното въздействие.

Прилагането на експериментални методи е основно при разработването на гранични стойности, поради неспецифичните функционални и патологични промени в организма под въздействие на ЕМП. При това е много важно да бъдат разграничени термичният от нетермичните ефекти, които могат да се установят при експериментите. Какво означава „нетермичен“ ефект? Той се получава, когато не се открива повишаване на телесната температура по време на въздействие. Разпределението на топлината може да бъде нееднородно, могат да съществуват „горещи точки“ в зоната на интензитетите на полето, които най-общо не могат да бъдат определени като термичен ефект. Тогава учените трябва да изследват механизмите на взаимодействие, които могат да се окажат основни при разработването на максимално-допустимите нива. Фундаменталният израз на подобно взаимодействие е загряването на тъканите.

Коренно различен подход се прилага в т. нар. „западна школа“, която датира от времето на първите максимално допустими стойности, разработени в САЩ за целите на защитата на военните от въздействието на микровълновото лъчение, излъчвано от радарните станции. Тези първи хигиенни норми датират от 70-те години на миналия век и са изключително прости: граничната стойност е 10 mW/cm^2 за честотния обхват от 100 MHz до 300 GHz. Биологичният критерий за създаване на тези норми е термичният ефект, който е установен при стойности над 25 mW/cm^2 и след прилагането на съответен коефициент на хигиенен запас, е приета цитираната гранична стойност.

Ако се замислим върху различията в подходите при разработването на граничните стойности от двете обсъждани тук научни школи, ще забележим, че при източната, изследването на праговете започва от нискоинтензивните въздействия в посока към увеличаване на „дозата“ (експозицията), докато при западната посоката е обратна – първо се нормират високите интензитети (експозиции), а по-нататък в историята учените вървят към изследване на по-ниските стойности.

Нека разгледаме като основа на западната доктрина документа, който е препоръчан от СЗО, както и от ЕС, като възможна основа за хармонизация на стандартите. Той до голяма степен отговаря на изискванията на западната школа, което ще обясни някои различия във философията на възникването на граничните стойности.

Препоръчаните норми от СЗО са разработени от ICNIRP като указания и там са разглеждани критериите и параметрите, на които те са основани. Тези указания за ограничаване на облъчването са разработени въз основа на преглед на съществуващата публикувана научна литература по проблема. Критериите, които са приложени при прегледа на статиите, са били предназначени да оценят правдоподобността на различните описани находки (Repacholi and Stolwijk 1991; Repacholi and Cardis 1997), като за основа за предложените ограничения на облъчването са използвани само доказани/установени ефекти от въздействието. Например възникването или раз-

витието на рак при продължително облъчване с ЕМП не е разглеждано като основа, поради противоречията в литературата по отношение на доказателствата за този ефект.

Указанията са базирани на краткотрайни, непосредствени (незабавни) здравни ефекти, като стимулация на периферни нерви и мускули поради индуциране на токове в организма; електрически шок и изгаряния, предизвикани от допир до проводящи обекти; повишена температура на тъканите от поглъщане на енергията по време на облъчване с ЕМП. В случая на потенциални ефекти от продължително въздействие, като увеличен риск от рак, ICNIRP заключава, че *„наличните данни не са достатъчни да осигурят основа за създаване на ограничения на експозицията, въпреки че епидемиологичната наука осигурява насочващи, но неубедителни доказателства за връзка между възможни канцерогенни ефекти и облъчване при нива на плътността на магнитния поток при 50/60 Hz, значително по-ниски от препоръчаните в тези указания.“*

Освен това експерименталните изследвания са третирани по особен начин: *„Тези изследвания са от ограничено значение при оценката на здравни ефекти, тъй като много от реакциите не се установяват in vivo. Така че не може да се смята, че изследваните in vitro самостоятелно осигуряват данни, които могат да ни поднесат първична основа за оценка на възможни здравни ефекти от ЕМП.“*

Едно резюме на биологичните ефекти и епидемиологични изследвания за честотния обхват 100 kHz – 300 GHz, използван при разработването на указанията, говори следното: Наличните експериментални доказателства показват, че облъчването с ЕМП на хора в покой за време приблизително 30 min продуцира целотелесна специфична поглътната мощност (SAR) между 1 и 4 W/kg, като причинява повишаване на температурата на тялото под 1°C . Данните от животни дават праг за поведенчески реакции в същия обхват на SAR. Облъчване с по-интензивни полета, създаващи стойности на SAR, надвишаващи 4 W/kg, могат да потиснат възможностите за терморегулация на човека и да предизвикат неблагоприятни

ятен ефект от загряването на тъканите. Много лабораторни изследвания с гризачи и модели на примати са демонстрирали в широк диапазон тъканни увреждания, резултат от локално или целотелесно загряване, увеличаващо температурата над 1-2°C. Чувствителността на различни видове тъкани към термично увреждане варира широко, но прагът за необратими ефекти дори в най-чувствителните тъкани е по-голям от 4 W/kg при други нормални условия на средата. Тези данни формират основа за ограничения при облъчване в работна среда от 0,4 W/kg, което осигурява голяма резерва на безопасност за други ограничаващи условия, като висока температура на околната среда, влажност или нива на физическа активност.

Лабораторните данни и резултатите от изследване на хора (Michaelson and Elson 1996) изясняват, че топлинните стресови условия на средата и използването на лекарства или алкохол могат да изложат на риск терморегулационния капацитет на организма. При тези условия трябва да се използват коефициенти на запас за осигуряване на адекватна защита на облъчените лица.

Данни от реакции на хора при облъчване с високочестотни ЕМП, което резултира в значително загряване, са били получени при контролирано облъчване на доброволци и от епидемиологични изследвания на работници, експонирани от източници като радари, медицинска апаратура за диатермия и системи за индукционно загряване. Те напълно поддържат заключенията, описани от лабораторните работи, а именно че вредни биологични ефекти могат да бъдат предизвикани при нарастване на температурата в тъканите над 1°C. Епидемиологични изследвания на експонирани работници и на населението са установили не първостепенни здравни ефекти, свързани с типичните условия на облъчване. Въпреки че има недостатъци в епидемиологичните изследвания като, например, бедна информация за експозицията, проучванията водят до неубедителни доказателства, че при типични нива на облъчване се установяват вредни ефекти върху репродуктивността или нарастване на риска от възникване на рак при експонираните лица. Това не се съгласува с

резултатите от лабораторни изследвания на клетъчни и животински модели, които не демонстрират тератогенни или канцерогенни ефекти при облъчване с атермични нива на високочестотни ЕМП.

Облъчването с импулсни ЕМП със значителни интензитети води до известни предсказуеми ефекти като явлениято микровълнов слух и различни поведенчески реакции. Епидемиологични изследвания на експонирани работници и на население са осигурили ограничена информация, недостатъчна да демонстрира някакви здравни ефекти. Докладванията за увреждания на ретината са оспорвани посредством неуспешни опити нахождките да бъдат повторени (реплицирани).

Голям брой от изследвания на биологичните ефекти на амплитудно модулирани ЕМП, главно провеждани при ниски нива на облъчване, са довели и до положителни, и до отрицателни резултати. Подробен анализ на тези изследвания показва, че ефектите от амплитудно модулираните полета варират широко с параметрите на облъчване, с прилаганите типове на клетките и тъканите, и от биологичните параметри, които се изследват. Най-общо, ефектите от облъчването на биологичните системи с атермични нива на амплитудно модулирани ЕМП, са слаби и много трудно могат да бъдат отнесени към потенциални здравни ефекти. Няма убедителни доказателства за честотни прозорци и такива по плътност на мощност като отговор на такива полета.

Шокове и изгаряния могат да бъдат вредни косвени ефекти от високочестотни ЕМП при допир на човек до метални обекти в полето. При честоти от 100 kHz - 110 MHz (горната граница на FM радиоразпръскване), праговите нива на контактния ток, който предизвиква ефект, вариращ от усещане до значителна болка, не се изменят значително като функция на честотата на полето. Прагът за усещане варира от 25 до 40 mA при хора с различни размери, а тази за болка - от приблизително 30 до 55 mA; над 50 mA може да има значителни изгаряния от страната на допир на тъканта с метални обекти в полето.

По отношение на типа на стандарта, ICNIRP

препоръчва ползването на двустепенен метод за нормиране. Контингентът в работна среда се състои от възрастни хора, които най-общо се облъчват при известни условия и са обучени да се предпазват от потенциалния риск и да вземат подходящи мерки за защита. Обратно, населението включва хора от всички възрасти и с различен здравен статус, и може да съдържа частично чувствителни групи от хора. В много случаи, лицата от населението не са осведомени за тяхното облъчване с ЕМП. Още повече, единични членове на обществото не могат основателно да се очаква да вземат защитни мерки за минимизиране или за избягване на облъчването. Тези съображения лежат в основата на по-строгите ограничения за населението, в сравнение с тези за облъчваните лица в работна среда.

Ограниченията, приети въз основа на ефектите от облъчване, са основани на установени здравни ефекти и се наричат **базови норми (основни ограничения)**. В зависимост от честотата, физичните величини, използвани за описание на основните ограничения от облъчване с ЕМП, са плътност на тока, SAR и плътност на мощност. Защитата срещу вредните здравни ефекти изисква тези основни ограничения да не бъдат надвишавани.

Референтните стойности при облъчване се определят за сравнение с измерените стойности на физични величини: те служат за оценка на съответствието спрямо измерените параметри на ЕМП и осигуряват съответствие с основните ограничения. Ако измерените стойности са по-високи от референтните нива, това не води задължително до факта, че основните нива са превишени, но е необходим по-детайлен анализ за оценяване на съответствието с основните нива.

Биологични критерии за нормиране

В предишния абзац подробно са дискутирани биологичните критерии за нормиране, прилагани от двете най-известни школи в света. Тук искаме само да направим едно подреждане на критериите за разработване на гранични стойности от ICNIRP, ICES, FCC, IEEE и други международни организации, тъй като това са стандартите, препоръчвани от СЗО и ЕС за

хармонизиране в световен мащаб и от страните-членки.

При разработването на основни ограничения ICNIRP използва различни научни основи за различните честотни диапазони, както следва:

- Между 1 Hz и 10 MHz се определят основни ограничения плътност на ел. ток, индуциран в организма, с цел защита на функциите на нервната система;
- Между 100 kHz и 10 GHz се определят основни ограничения за SAR, с цел защита от цялостен топлинен стрес и от локализирано крайно загряване на тъкани; в честотния обхват 100 kHz – 10 MHz се определят основни ограничения едновременно за плътност на тока и SAR;
- Между 10 GHz и 300 GHz се установяват основни ограничения плътност на мощност за предпазване от крайно загряване на тъкани на или близо до повърхността на тялото.

Биологичните критерии за приемането на тези основни ограничения са следните: В честотния обхват от няколко Hz до 1 kHz, за нива на индуктираната плътност на тока над 100 mA/m², праговете за остри промени във възбудимостта на нервната система и за други остри ефекти като обръщане поляритета на зрителния евокиран потенциал, са надвишени.

При това за честотния обхват 4 Hz до 1 kHz, облъчването в работна среда трябва да се ограничи до полета, които индуцират плътности на тока по-малко от 10 mA/m², т.е. приложен е коефициент на запас 1:10. За населението е приложен допълнителен коефициент на запас 1:5, което дава основно ограничение 2 mA/m². Под 4 Hz и над 1 kHz основното ограничение на индуктираната плътност на тока расте прогресивно, кореспондиращо на нарастването на прага за нервна стимулация за тези честотни обхвати.

Установените биологични и здравни ефекти в честотния обхват от 10 MHz до няколко GHz са в съгласие с реакции за повишаване на телесната температура с повече от 1°C. Това ниво на температурно нарастване се получава от умерени условия на средата при цялостна SAR приблизително 4 W/kg за около 30 min.

При това като основно ограничение е избрана средна стойност на целотелесна SAR от 0,4 W/kg, която осигурява адекватна защита за облъчване в работна среда. Допълнителен коефициент на запас 1:5 е приложен за облъчване на население, което дава гранична средна стойност на целотелесна SAR от 0,08 W/kg.

В нискочестотния обхват има оскъдни данни по отношение на преходните токове и здравните ефекти. ICNIRP препоръчва при това положение, основните ограничения за плътностите на тока от преходни явления или от много кратки пикови полета да се считат като моментни стойности, които не трябва да се усредняват по време.

Редукционен фактор; коефициенти на хигиенен запас

Терминът „*коефициент на хигиенен запас*“ е въведен в руската школа на нормирането и той абсолютно точно съответства на по-късно приетия от западната школа термин „*коефициент / фактор за безопасност*“.

Исторически, първият коефициент на хигиенен запас е въведен в руските норми и той е 1:10 спрямо установения праг за вреден ефект. Идеята на този коефициент е да се вземат предвид неизвестности за науката по отношение на вредното действие на ЕМП върху човека и на установените прагове за това въздействие, както и неточностите, които са свързани със самите научни изследвания и доказателствените резултати от тях. Обсъждано е в нискочестотния обхват, където поотделно се изследват електрическата и магнитната компонента, да се приеме фактор на безопасност $\sqrt{10} \approx 3$ за всяка една компонента на ЕМП. При това, ако двете компоненти на ЕМП въздействат върху организма едновременно, е обмисляно да се прилага допълнителен коефициент на запас $\sqrt{2}$, умножен по приетия за всяко едно поле (компонента) коефициент. Накрая, след много обсъждания, е приет коефициент на запас за честоти под 300 MHz приблизително 1:5.

В настоящия момент, и двете школи прилагат коефициент на запас от 1:10 за работещите и 1:50 за населението. За непрофесионално облъчване (работна среда на персонал, непряко свързан с източници на ЕМП), в източноевро-

пейската школа се прилага в някои страни коефициент между 1:20 до 1:50, т.е. до този приет за населението. Някои европейски страни (Полша, Белгия и др.) прилагат коефициенти, различни от цитираните в ICNIRP (1:10 и 1:50) за някои честотни обхвати или за определени условия на облъчване на човека, без да има каквито и да е научни доказателства за подобни действия.

Едно сериозно предизвикателство пред науката по биологичните ефекти на ЕМП е да се установят неточностите и условията, изискващи прилагането на коефициенти с определена стойност, така че да има ясни доказателства за това какъв хигиенен запас е приложим за определено въздействие. Засега науката е далеч от този резултат, дори вероятно.

Много малко е направено в науката за оценка на комбинираното действие на ЕМП с различни физически, химични и други вредни фактори на средата. Някои стандарти в света, между които са действащите до 2011 г. стандарти на Р България, обръщат внимание на комбинациите на ЕМП с някои синергично действащи нокси, като йонизиращите лъчения и прегряващия микроклимат. Тогава в стандартите е приет допълнителен коефициент на запас 1:10.

Съществува недостатъчна информация за биологичните и здравни ефекти от облъчването с ЕМП на човешка популация и експериментални животни за осигуряване на строга основа за приемане на коефициенти на запас за целия честотен обхват и за всички честотни модуляции. В допълнение, една от несигурностите, свързани с подходящ коефициент на запас, се получава от липсата на знание, свързано с подходяща дозиметрия (Repacholi 1998). Следните общи променливи са взети предвид при развиването на коефициентите на запас за високочестотни полета в указанията на ICNIRP:

- Ефекти от облъчване с ЕМП при тежки условия на средата (висока температура и др.) и/или високи нива на активност; и
- Потенциално по-висока температурна чувствителност в определени групи от населението, като слаби и/или възрастни хора, бебета и малки деца, и хора с боле-

сти или взимащи лекарства, които влияят на топлинния толеранс.

Вместо коефициенти на запас, в ICNIRP са взети предвид, в зависимост от съществуващите данни в литературата, и някои допълнителни фактори при определяне на референтните нива за високочестотни полета:

- Различия в поглъщането на електромагнитната енергия от лица с различни размери и различни ориентации в полето; и
- Възможно отражение, фокусиране и разсейване на падащото поле, което може да резултира в повишено локално поглъщане на високочестотна енергия.

„Дозният подход“ при нормирането

„Дозният подход“ – „енергетичното натоварване на организма“ е най-често прилаганият подход при оценката на експозицията от въздействието на ЕМП в източната школа. Исторически тя е приета през 60-те и ранните 70-те години на XX век в страни като Полша, Чехословакия, бившите ГДР и Съветски съюз, както и в нашата страна.

Този подход обхваща оценката както на интензитетите на електрическото (**E**) и магнитното (**H**) поле; респективно плътността на мощност (**S**), така също и времето на въздействие (**T**), в часове (*h*) или минути (*min*). Енергетичното натоварване на организма (**W_E**, **W_H**, **W_S**) се дефинират като произведенията на квадратите на интензитетите на полето по времето: $E^2 \cdot T$, $H^2 \cdot T$ или $S \cdot T$. Тези величини са пряко пропорционални на падащата електромагнитна енергия. Ако се вземат предвид падащата електромагнитна енергия по посока на дългата ос на човека, тези величини могат да бъдат свързани директно с погълнатата енергия от единица маса, която за единица време се определя като **SAR**. Тази връзка е описана по-подробно в глава 10.

Проф. Савин през 1979 г. дискутира основата на дозния подход по следния начин: максимално допустимите стойности имат близка до хипербола зависимост от продължителността на въздействието. В същото ръководство Субота и Чухловин дават един пример за проста дозова оценка в микровълновия обхват:

$$T = \frac{W}{kP},$$

където **T** е продължителността, в min;

P е измерената плътност на мощност;

k е коефициент, свързан с други характеристики на облъчването (ефективност);

W е падащата плътност на енергията.

Дозният подход дава възможност за сумиране на експозициите, получени от различни източници на ЕМП, при работа на няколко работни места в течение на един работен ден, при облъчване с различни честоти и интензитети, или за различни продължителности на въздействие (напр. 24 h).

Повечето от източноевропейските страни имат стандарти, които описват методи за сумиране на въздействието чрез прилагане на дозни подходи.

Западноевропейските страни и САЩ също прилагат подходи, свързани с оценка на времето на въздействие. Всички методи за оценка на референтните стойности изискват измервания и оценки (усреднявания) в периоди от 6 min (0,1 h), което наподобява оценките, извършвани по „дозния подход“ в източната школа.

Сравнение на гранични стойности

Пълна информация за съществуващите стандарти в света, както и сравнение на граничните стойности, могат да бъдат направени въз основа на данните от Международния проект „Електромагнитни полета“ на СЗО.

Тук представяме само някои гранични стойности на международни организации и национални на страни-членки на ЕС и други, за фиксирани често използвани честоти в практиката, а именно: промишлената честота 50 Hz, честотата, прилагана често за термична обработка на метали 66 kHz, честотата, прилагана от швайспресите за обработка на диелектрици и на УВЧ генераторите във физиотерапията 27,12 MHz, честотата на микровълновите фурни и на медицинските радары във физиотерапиите 2450 MHz, честотите на различните GSM системи – 900, 1800, 2100 MHz.

Таблица 4. Гранични стойности в света за честоти 900 MHz, 1800 MHz и 2100 MHz (население)

НОРМАТИВЕН ДОКУМЕНТ	ЧЕСТОТЕН ДИАПАЗОН, MHz	ГРАНИЧНА СТОЙНОСТ, $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
ICNIRP, 1998	900	450
(Препоръка 1999/519/ЕК): Великобритания, Финландия	1800	900
	2100	1000
IEEE C95.1-2005	900	450
	1800	900
	2100	1000
Safety Code 6, Канада	900	273,6
	1800	439,3
	2100	488,1
Япония ТСС/МРТ - Телекомуникацион-на компания	900	450
	1800	900
Русия – национални стандарти	900, 1800, 2100	10,0
Италия - За продължителен престой- attention levels	900, 1800, 2100	450, 900, 1000
	900, 1800, 2100	10,0
Швейцария (ICNIRP, 1998) Швейцария – гранични стойности при инсталиране на обекти При едновременно излъчване в двата диапазона	900	450
	1800	900
	2100	1000
	900	4,2
	1800	9,55
	-	6,63
Нова Зеландия – национален стандарт	900, 1800, 2100	0,02
България, Наредба №9/1991	900, 1800, 2100	10,0

Таблица 5. Гранични стойности в света за промишлена честота 50 Hz (население)

СТРАНА ОРГАНИЗАЦИЯ	ИНТЕНЗИТЕТ НА ЕЛЕКТРИЧНО ПОЛЕ, V/m	ИНТЕНЗИТЕТ НА МАГНИТНО ПОЛЕ, A/m	МАГНИТНА ИНДУКЦИЯ, μT
ICNIRP 2010	5000	160	200
Препоръка 1999/519/ЕС (ICNIRP 1998):Германия, Испания, Чехия, Великобритания, Финландия	5000	80	100
IEEE - Под ВВ линия - Експозиция на крайници	5000	719 (глава и торс)	904 (глава и торс)
	10000		75800
Австрия - в Залцбург + ограничение по разстояние	5000	80	100
Австралия – неограничен престой	5000		100
Белгия - в населени места - пътища - други области			
	5000	-	-
	7000	-	-
Русия - в домовете и приравнени на тях сгради - в населено място - при временно пребиваване, вкл. на лица, които не са свързани професионално с източника - за ненаселени и труднодостъпни местности			-
	500	-	5
	1000	-	10,0
			20,0
			100,0
Швейцария - За чувствителни места, при експозиция от ВВ линии, кабели, жп	5000	80	100
	1000		1
Италия - На места с престой над 4 часа - За ново строителство	5000		100
			10
			3,0
- За региони Veneto, Emilia Romagna, Toscana – за нови инсталации	500		0,2

Ясно е, че няма друг случай в науката, където да има такова голямо разминаване при интерпретацията на научните резултати. Огромните различия между граничните стойности между различните страни водят до сериозни проблеми както по отношение на свободната търговия между страните и при въвеждането на съоръжения, продукти, технологии, облекчаващи нашия живот, също и до страхове сред населението, объркване, опозиция. Често този публичен интерес се използва от някои групи в обществото за икономически или политически цели.

Сериозните различия в стандартите в света се отнасят главно до терминологията, философията за нормиране, описана по-горе, биологичните критерии, самите нормирани параметри и граничните стойности. Отново бихме потвърдили, че всички тези разлики се дължат основно на различия във философията на самите стандарти, въпреки че в последно време се намесват и политически причини за интерпретация на установените данни от науката.

Нека направим някои примерни сравнения, както и да опишем трудностите, водещи до цитираните различия:

- Някои стандарти са разработени на основата на експериментални данни (Русия, Китай, България, Полша, Турция, Чехия и др.), други само въз основа на преглед на литературата (ICNIRP);
- Част от граничните стойности се основават на резултати от изследвания на краткотрайни ефекти от въздействието (ICNIRP, FCC, IEEE, C.95), други включват и дълготрайните и последващи ефекти от въздействието;
- Терминологичните различия водят до голямо неразбиране между изследователите и специалистите, разработващи стандарти;
- Неразбирателството между специалистите често се дължи и на езиковите бариери. Повечето статии от учени от бившите социалистически страни са публикувани на родните езици, най-често на кирилица, което не дава възможност на западните учени и специалисти да вникнат в резултатите в тези публикации. Факт е, че почти всички

учени от „изтока“ четат на езици с латиница, докато единични специалисти от западните страни и САЩ ползват кирилица.

В последните десетина години е направено много за „изглаждане“ на тези различия, понякога противоположни. Този процес за хармонизация на стандартите беше оглавен от СЗО, като част от Международния проект „Електромагнитни полета“. Инициативата за това решение е взета от някои членове на Международния съветнически комитет (IAC) към СЗО, основно и под натиска на автора на тази книга. Въпреки че СЗО не разработва директно стандарти, в случая беше взето решение на базата на дискусия между специалистите, включително тези от България, проектът да се насочи към разработване на рамки за хармонизация на стандартите в света.

С цел изпълнение на тази важна за света задача, СЗО организира многобройни събития в различни части на света, като конференции, кръгли маси, семинари и др., с обща тема „хармонизация на стандартите“:

- *WHO EMF Standards Harmonization Meeting: Brooks Air Force Base, San Antonio, Texas, 13-14 November 2000;*
- *WHO/Peru Government Regional Seminar: Bioeffects and EMF Standards Harmonization, Lima, Peru, 7-9 March 2001;*
- *WHO EMF Regional Meeting, Bulgaria, 28 April – 3 May 2001;*
- *WHO EMF Biological Effects and Standards Harmonization Meeting, South Korea, 22-25 October 2001;*
- *WHO EMF Biological Effects and Standards Harmonization Meeting, Cape Town, South Africa, 5-7 December 2001;*
- *WHO EMF Biological Effects and Standards Harmonization Meeting, Moscow and St. Petersburg, 17-25 September 2002;*
- *WHO EMF Biological Effects and Standards Harmonization Regional Meeting, Guilin, Guanxi, China, 13-18 October 2003.*

СЗО разпространи също и въпросник, който беше дискутиран продължително време, с цел да бъде разработена рамка за хармонизация на стандартите.

Друга активност на СЗО е организирането на работна група от специалисти от цял свят, която да направи внимателен преглед на съществуващата литература, която може да бъде приложена за целите на разработката на стандарти. Като резултат, учените най-после влязоха в дискусия и може да очакваме резултати.

Друга международна организация, която се опита да обедини учените, с цел преглед на литературата, беше американската организация IEEE, чиято основна цел беше да усъвършенства стандартът C95 на основата на международна дискусия. Група български учени, под ръководството на автора, също участва в този процес.

Дори НАТО, по специално научните лаборатории към USAF, военно-въздушната база Брукс в Сан Антонио, използва международната общественост, за да започне дискусия с краен резултат хармонизация на стандартите.

Като резултат от дейността на СЗО, особено след дискусията на научните срещи, СЗО публикува документ *“Рамка за разработване на стандарти за ЕМП”*.

Източноевропейските страни (вкл. Китай) организират своя отделна дискусия по проблема. Първият дебат по философия за разработване на стандарти е поставен от българските изследователи, под ръководството на автора на монографията, като беше разпространен въпросник сред водещите специалисти от тези страни. Първата дискусия беше започната в Москва на II Международна конференция *„Electromagnetic Fields and Human Health”*, 20-24 September 1999, Moscow, следвана от работно съвещание във Варна, 2001 г. и в Южна Корея през октомври 2001 г.

Някои страни, като България, Китай, Полша, Русия, Унгария, Хърватска, Чехия, взеха инициативата да провеждат политиката на СЗО за разработване на рамка за разработване на стандарти в свои ръце, като организираха срещи, дискусии и др.:

- *The East European Meeting in Varna, Bulgaria - 2001;*
- *“WHO EMF Biological Effects and Standards*

Harmonization Meeting” in 2002, и кръгла маса в Санкт Петербург, 2002;

- Интернет страница на всички стандарти в света, като част от страницата на СЗО по Международния проект „Електромагнитни полета” (Хърватска).

Тези дейности дадоха възможност да се дискутират „източните” критерии за нормиране със „западните” специалисти, най-малкото като начало да решат проблемите с езика и терминологията.

Резултат от тези дискусии беше разработването на цитираната „рамка за разработване на стандарти”. За съжаление, обаче, все още има сериозни различия в стандартите в света. Отново разликите са в терминологията, параметрите, които се нормират, самите гранични стойности, коефициентите на безопасност и др. Едновременно с това, някои страни-членки на ЕО (Италия, Швейцария, Австрия, Белгия) вървят в посока към снижаване на граничните стойности, доближаването им до „източноевропейските”, както и приемането на още по-ниски норми от тези, недостижими от технологиите.

На кръглата маса в Санкт Петербург през 2002 г. стана ясно, че посоката в разработването на стандарти в света не е към съгласие, а към още по-голямо разминаване, т.е. че границата между различните „школи” става по-отчетлива, особено в областта на терминологията и философията.

Гледната точка на руските специалисти, например, е, че **повтарянето на изследвания**, проведени преди 20 до 40 години в Източна Европа няма да доведе до желаната цел: разбирателство между различните школи и търсенето на съгласие по отношение на прилаганите в източните страни по-защитаващи човека стандарти.

Друга причина е фактът, че тези изследвания не могат да бъдат повтаряни, поради различията в мненията на учените за това какво означава „добър протокол” (дизайн) на изследването, прилагано в миналото. Важен факт е, че при тези минали изследвания, е прилаган много прецизен протокол, поради това, че науката за изследване на вредните ефекти от

въздействието на ЕМП е била в началото на своето развитие и е било необходимо спазването на много повече изисквания, отколкото в настоящето. Като пример, за провеждането на такива изследвания, руските изследователи са публикували през 60-те години детайлно методично ръководство, описващо подробно изискванията (протокола) за извършване на подобни изследвания. Нещо, което в момента не съществува.

Още една причина за невъзможността за повторение на „старите“ изследвания е фактът, че по времето, когато са провеждани, не е била известна този тип дозиметрия, която сега се прилага. Тук имаме предвид прилагането на параметрите SA, SAR. Всяко едно изследване от миналото е прилагало енергетични параметри, които могат да бъдат преизчислени в някой от „съвременните“ параметри SAR или SA, като пример за това е математическата връзка между „енергетичната доза“ и погълнатата енергия SAR.t, представени тук и в някои публикации на автора.

Друг е въпросът дали въобще могат да се повторят условията на експеримента, извършван преди десетки години, по отношение на начина на облъчване, допълнителните фактори на средата, измервателната техника, постановката на облъчване и др.

От друга страна, съществуват достатъчно данни, които доказват наличието на неблагоприятни ефекти от въздействието на ЕМП при стойности, които могат да бъдат наречени „атермични“. Това е причината, поради която много учени от източните страни могат да се съгласят на хармонизация на стандартите, само при съгласие за включване на следното:

- Да се включат в стандартите продължителните (хронични) ефекти, както и на късните ефекти от въздействието;
- Да се включат данни за влиянието на ЕМП върху най-чувствителните органи и системи на организма;
- Да се включат данни за възможна канцерогенеза при ниски честоти;
- Да се включат данни от епидемиологични изследвания.

Следващ въпрос е дали нарастването на температурата на тялото с 1°C е „нормално“ за установяване на гранични стойности за термичен ефект, както препоръчва СЗО. Дали този ефект се изразява само чрез нарастване на температурата на тялото? Има достатъчно механизми в организма, които се включват в действие за запазване на термичната хомеостаза. Няма ли други механизми, които при поглъщане на енергията след облъчване, променят параметри в организма извън физиологичните норми? Точно тук е мястото да поставим въпроса дали не е подходящо прилагането на величината SAR за оценка на каквато и да е погълната мощност от организма, а не само при нормирането, или да прилагаме друг параметър, който да се окаже по-подходящ за целта? Какво би станало, ако има и други начини за „детектиране“ на полето от човека – не само чрез поглъщане на енергията, но и чрез приемането ѝ от структурите в организма като информация? Информационното въздействие сериозно се обсъжда сред учените. Има много хипотези, които обсъждат възможното „нискоинтензивно“ въздействие, като детектиране на информация и промени в „информационното здраве“ на организма – на ниво макромолекули, клетки, структури.

Нашето становище тук е свързано с факта, че всички информационни взаимодействия в организма се извършват чрез пренос на електрически сигнали или електромагнитна енергия. При това е ясно, че в случай, когато външните (екзогенните) въздействия индуцират токове със стойности, близки до ендогенните електрически сигнали, е възможно в организма да се индуцират „грешни“ сигнали, което е типично мислене за информационно въздействие. Всички тези разсъждения са в областта на хипотезите, но би могло да се окажат част от неизвестните биологични ефекти, които се отразяват в литературата при „слаби“ ЕМП. По този начин могат да се обяснят в бъдеще и някои симптоми и синдроми, свързани с т.нар. „свръхчувствителност“ сред част от населението.

И все пак нека си зададем въпроса: Възможна ли е хармонизация на стандартите на настоящия етап? Тук ще представим някои идеи на

автора, развити като методологичен подход в проект, разработен за ВВС на САЩ през 2001 г.

Първата стъпка към единни стандарти е да се променят подходите за разработване на стандарти. Те трябва да се основават на консенсус между получените доказателства от научните изследвания за праговете на въздействие и на техническото обезпечаване на ограничаване на облъчването. Хигиенната наука до голяма степен в това отношение се превърна в социална наука и един от най-важните елементи при разработването на стандартите е да се вземат предвид мненията на всички заинтересовани лица, особено на неправителствените организации и на членовете на обществото, освен тези на специалистите и на индустрията.

В света, в повечето стандарти за ЕМП, облъчването в бита и в околната среда се разграничава от това в работна среда. Този въпрос обсъждахме по-горе, като стигнахме до заключението, че двустъпковите стандарти са за предпочитане пред тези с една обща стойност за защита на човека в работна и околна среда. При оценката на експозицията и риска, обаче, се препоръчва единен подход. Европейска Директива за физическите фактори от 1992 г. препоръчва оценката на въздействието да се извършва за 24-часова експозиция, а не само в зависимост от това в каква среда се намира човекът. Тази стратегия се основава на изискването да се минимизира експозицията, независимо от начина на въздействие. Тя дефинира 3 основни зони на опасност:

- „Черна зона” (забранена) – това е забранена зона за пребиваване на хора в условия на ЕМП, т.е. там, където стойностите на ЕМП надвишават граничните стойности (например за микровълновия обхват – там, където стойностите на SAR надвишават 0,4 W/kg);
- „Бяла зона” – безопасна зона за населението (например за микровълновия обхват това е зона, където стойностите на SAR са под 0,08 W/kg).

Ясно е, че между тези 2 зони трябва да има някаква „сива зона”, която се намира между двата прага и в която трябва да се извършва контрол, мониторинг на фактора, както и да се прилага превантивния подход при нормирането.

Един подход за постигане на съгласие в областта на стандартите в света се основава на разработването на рамката на СЗО за създаване стандарти. Освен идеите и препоръките, заложи в нея, според нас трябва да се върви и в следната посока:

1. Да се инициира **международна работна група** от специалисти с различни гледни точки, толерантни, достатъчно интелигентни, за да могат да приемат (където това е рационално) нови идеи и философии. Голяма част от привържениците на двете „крайни школи” се ограничават в своята теза и почти не приемат чужди или нови мнения.
2. Да се разработи ново **Методично ръководство**, което да се спазва от изследователите при разработване на стандарти. Това ръководство може да бъде разработено също от работна група, включваща учени с различни (също противоположни) мнения по определени въпроси.
3. Постигане на съгласие за **универсален терминологичен речник** в областта на разработката на стандарти. Това ще позволи в различните краища в света да се говори на един език в областта на науката за праговете на въздействие.
4. **Погълнатата енергия от организма** да се оценява по една и съща величина, например SAR или някоя друга, която да може да се пресмята от един енергиен параметър в друг. Това ще даде възможност на източноевропейските изследователи да намерят своето място чрез подобни енергетични величини и да се оценяват както краткотрайни, така и дълготрайни (хронични) въздействия.
5. Литературният преглед, извършван от ICNIRP при създаването на стандарти, трябва да включва **повече публикации от източноевропейските страни, Китай и др.** Това може да стане и като се публикуват повече изследвания от тези страни и на западноевропейски езици, с цел премахване на езиковата бариера в разбирателството между учените.

Като първа стъпка в областта на хармонизацията и на разбирателството между различните школи е необходимо на основата на разработената от СЗО „Рамка“ да се прилагат граничните стойности, препоръчани от ICNIRP за краткотрайно облъчване. По-нататък, нови критерии и изследвания ще разширят познанията в областта и на нетермичните ефекти, както и на продължителните и късните последиствия от въздействието.

Оптични и лазерни лъчения

История

Въпреки че през последните 100 години вредните ефекти от оптичните лъчения не са останали незабелязани от учените, създаването на първите общи стандарти за защита на човека от оптични лъчения се забавя значително във времето. Преди разработването и въвеждане на хигиенни норми за оптичните лъчения, остриите ефекти от ултравиолетовото лъчение като еритема и фотокератит, са служили като индикатор за вземане на мерки за защита на персонала, работещ с УВ източници. При източниците на видимо и инфрачервено лъчение такъв индикатор са били естествената непоносимост (отвращение) към ярка светлина и топлинния дискомфорт.

Причините за късното въвеждане на общи стандарти за защита от оптични лъчения, могат да се обобщят по следния начин:

- Емпирично разработените процедури за защита на човека при използване на източници на оптично лъчение най-общо са предотвратявали инциденти и увреждания;
- Липсата на биологични данни не е позволила въвеждането на адекватни критерии за хигиенно нормиране на оптичните лъчения;
- Липсата на измервателна апаратура, която да позволява адекватно количествено характеризиране на експозицията.

Първият стандарт за оптични лъчения в света е приет през 1948 г. от Американската медицинска асоциация и се отнася само за защита на очите и кожата при използване на бактерицидни лампи. Не е изненадващ фактът, че

първите усилия на учените при разработване на стандарти са насочени към ултравиолетовия диапазон на оптичния спектър, поради установените остри ефекти на лъчението върху очите и кожата, както и дългогодишните изследвания на еритема на човешката кожа.

Създаването на лазера през 1960 г. допълнително стимулира интереса към рисковете от оптичните лъчения върху човека. През 1972 г. D. Sliney предлага стандарти за експозиция на очите и кожата с УВ лъчение, независимо от вида на източника. Стандартите са приети от американската армия и ACGIH, а по-късно и от NIOSH (Националният институт по охрана на труда и здравето). Първият нормативен документ за видимата и инфрачервената област с прилагане на тегловни функции, отчитащи зависимостта на биологичните ефекти от спектъра на лъчението, е въведен през 1975 г. от ACGIH.

За лазерните лъчения първите хигиенни норми започват да се разработват през 1962-1963 г. и се отнасят за лазери, използвани за военни цели. Първият консенсусен стандарт за безопасно приложение на лазерите е приет от ANSI през 1969 г.

В България хигиенни норми за оптични лъчения са въведени за първи път през 1986 г. за лазерни лъчения. Те са разработени на основата на нормативните документи на Международната електротехническа комисия и ANSI, САЩ. За оптични полихроматични лъчения хигиенни норми са въведени значително по-късно, през 2010 г., с транспониране на Директива 2006/25/ЕК в националното законодателство.

Тук ще разгледаме по-подробно биологичните критерии за въвеждане на хигиенни норми за оптичните полихроматични и лазерни лъчения.

Биологичните ефекти на оптичните лъчения върху човека, независимо от това дали са полихроматични или лазерни в един и същ спектрален диапазон, при сравними условия за всяка експонирана част от човека, площ и продължителност на експозицията са еднакви.

Органите, които са най-уязвими за увреждане при облъчване с оптично лъчение са очите и кожата на човека. Биологичните ефекти, праговете и механизмите на увреждане зависят от дължината на вълната на оптичното лъчение. В диапазоните от оптичния спектър ефектите може да се припокриват, но трябва да се оценяват независимо. Разграничават се няколко основни типа на вредни ефекти върху очите и кожата, предизвикани от оптични лъчения:

Вредни ефекти върху очите:

- Фотохимично увреждане на конюнктивата и роговицата (фотокератоconjunctivит) – приблизително от 180 nm до 400 nm; най-силно изразено в диапазона < 300 nm;
- Фотохимично увреждане на лещата – приблизително от 180 nm до 320 nm;
- Термично увреждане на роговицата – приблизително от 1400 nm до 1 nm;
- Термично увреждане на ириса – приблизително от 380 nm до 400 nm;
- Увреждане на лещата от лъчение в близкия инфрачервен диапазон – приблизително от 800 nm до 3000 nm;
- Термично увреждане на ретината – в диапазона от 380 nm до 1400 nm;
- Фотохимично увреждане на ретината тип „синя светлина“, главно в диапазона от 380 nm до 550 nm; в диапазона от 300 nm до 550 nm за око с отстранена леща (при афакия). Този тип увреждане се разглежда като фотохимично увреждане тип II;
- Фотохимично увреждане на ретината от хронично облъчване с ярка светлина – фотохимично увреждане тип I.

Праговете за увреждане на окото преди зряла възраст се модифицират с различно спектрално пропускане и различна чувствителност.

Вредни ефекти върху кожата:

- Фотохимично увреждане на кожата (еритема) от 180 nm до 400 nm; най-силно изразено в диапазона < 300 nm;
- Термично увреждане на кожата, изгаряне, приблизително от 380 nm до 1 nm;

- Увреждане на кожата от фотосенсибилизация. Типично за УВ диапазона, но такива реакции могат да се получат до приблизително 700 nm, вероятно като страничен ефект на някои лекарства;
- Фотоалергични реакции, при които антиген, активиран от експозицията с оптично лъчение предимно в УВ диапазона, предизвиква имунна реакция;
- Рак на кожата от ултравиолетово лъчение от 180 nm до 400 nm; *най-силно изразено в диапазона < 320 nm.*

За всички вредни ефекти са определени активни спектри, които отразяват биологичната ефективност на лъчението в зависимост от дължината на вълната.

За разлика от другите диапазони на оптичния спектър при УВ диапазон рискът за кожата на човека зависи от индивидуалната чувствителност към ултравиолетовото лъчение, което включва както цвета на кожата (кожен фототип), така и степента на аклиматизация и адаптация към УВ лъчение. По отношение на чувствителността към УВ лъчение, индивидите най-често се категоризират в един от шест кожни фототипа, като класификацията се основава на възможността на кожата им да произвежда пигмента меланин.

За еритемата на човешката кожа се дефинират две величини: минимална еритемна доза (MED) и стандартна еритемна доза (SED). MED е дозата лъчение, която води до едва доловима еритема, тя зависи от спектралния състав на лъчението, от кожения фототип, кожната област, степента на адаптация към УВ лъчение, както и излагането на фотосенсибилизатори. При неаклиматизирани популации с бяла кожа съществува диапазон от 4 порядъка за MED. Поради тези причини се използва SED, като 1 SED е еквивалентна на еритемна ефективна експозиция 100 Jm⁻². Необходима е експозиция от около 3 SED, за да се предизвика само минимална еритема при неаклиматизираната бяла кожа на типичните северноевропейски кожни типове. Експозиция от 5-8 SED води до умерено слънчево изгаряне, а 10 SED или повече водят до болезнено изгаряне с мехури и

нарушаване на повърхността на кожата. Граничните стойности на експозиция, въведени от ICNIRP са от 2 до 4 пъти MED.

При окото, за разлика от кожата, не съществува голям диапазон от индивидуална чувствителност и всички хора са податливи на увреждания на окото от околната среда.

Механизмите, включени в термичното увреждане на ретината като функция на размера на изображението върху нея в диапазона 380 nm - 1400 nm, са добре изучени и подкрепени с експериментални данни от животни и модели. Въпреки че няма ясни граници между механизмите на увреждане, някои от тях преобладават в зависимост от спектралния диапазон и продължителността на експозицията. Във видимия диапазон фотохимичните механизми преобладават за дължина на вълната под около 600 nm за време на експозиция повече от около 10 s. За продължителност на експозицията по-малка от няколко секунди, вредният ефект се дължи на термично увреждане. В ИЧ диапазон, където не са установени фотохимични ефекти, термичните ефекти ще продължават да преобладават при време на експозиция, по-голямо от 10 s.

Прагът за термично увреждане на ретината се променя в зависимост от размера на изображението/петното върху нея. Причината за това е, че излъчваният топлинен поток влияе върху температурата в центъра на петното върху ретината по време на експозицията. За много малки и много големи изображения върху ретината влиянието на radial heat flow (топлинния поток) върху експонираната площ е незначително и поради това се прилага постоянен праг за спектралната плътност на мощност. За размери на изображението от около 1 mrad до 0,1 rad, прагът за спектралната плътност на мощност на лъчението се променя обратно пропорционално на диаметъра на изображението върху ретината, за продължителност на експозицията от порядъка на 1 s. За малки и средни размери на изображението върху ретината, движението на окото също влияе върху праговете за фотохимично увреждане, тъй като енергетичната доза от лъчението се разделя върху по-голяма площ от ретината.

Гранични стойности на експозиция за оптични полихроматични лъчения

Граничните стойности на експозиция за оптични полихроматични лъчения са определени за дължини на вълната от 180 nm до 1 mm, въпреки че диапазонът може да се ограничи само до 3000 nm, тъй като нелазерните източници не излъчват достатъчно енергия в диапазона над 3000 nm, за да причинят опасност за здравето, освен топлинен стрес, който е обект на разглеждане от други нормативни документи (за прегряващ микроклимат).

Граничните стойности по същество не се различават за експозиция в работна среда или на население, с някои изключения:

- Установено е, че малките деца и възрастните хора са по-чувствителни към фотохимични увреждания в УВ диапазон, което изисква специфични подходи за тези раними групи;
- По отношение на активния спектър за фотохимично индуцирана фоторетинопатия за деца под 2 години, поради прозрачност на лещата в УВ диапазон, следва да се прилага функцията, определена при афакия (при отстранена леща).

Фотобиологичните опасности за окото и кожата се променят значително с дължината на вълната. Поради тази причина експозицията с оптичен полихроматичен източник трябва да се оцени като се приложат няколко активни спектъра. При създаването на гранични стойности за оптични полихроматични източници се прилагат активните спектри за установените биологични ефекти. Активните спектри се използват за спектрално претегляне на експозицията, за да се получат „биологично ефективни“ величини (доза, плътност на мощност). По този начин, като се отчита биологичната ефективност на оптичното лъчение, се получава най-адекватна оценка на експозицията. Оценка на експозицията, без отчитане на биологичната ефективност на лъчението, може да доведе до значителното ѝ надценяване или подценяване. Дозиметричната концепция отразява факта, че при експозиция с оптично лъчение от даден източник може да съществува повече от една опасност, например

фотохимично индуцирана фоторетинопатия и термично увреждане на лещите.

След това, независимо от спектъра на източника, могат да бъдат определени граници на експозиция по отношение на продължителността ѝ, а също и други параметри, така че всички източници да са оценени с едни и същи критерии за риска.

Във всички случаи, при сравняване на ефективните стойности на изследваното лъчение, трябва да се отчита продължителността, геометрията на облъчването и спецификата на облъчената част от тялото. Например при наличие на видимо лъчение с голяма интензивност в спектъра на изследвания източник, естествената реакция на непоносимост/отвращение на окото към ярката светлина и рефлексът на мигането до голяма степен ще намалят потенциално опасната експозиция. Във видимия и инфрачервения диапазон високата плътност на мощност на оптичното лъчение водят до усещане за топлинен дискомфорт от кожата и роговицата, които също отключват реакцията на непоносимост/отвращение и вероятно до намаляване на експозицията.

Независимо от това, че биологичните ефекти от оптичните полихроматични и лазерни лъчения при сравними условия са еднакви, концепцията за създаване на гранични стойности за експозиция/максимално допустими стойности е различна поради няколко основни фактора:

- Специфични характеристики на лазерното лъчение - монохроматичност, кохерентност и колимираност на оптичния сноп лъчи (които нямат специфичен биологичен ефект);
- За източник на оптично полихроматично лъчение е необходимо да се отчетат няколко възможни типа увреждания (с различни зависимости от дължината на вълната, продължителност на облъчване и размер на изображението (петното) върху ретината), докато при лазерното лъчение за единична дължина на вълната, геометрия и продължителност на експозицията се определя най-рестриктивният тип на увреждането.

Поради голямата яркост на лазерното лъчение, много лазери в зависимост от дължината

на вълната могат да причинят термично изгаряне на кожата, роговицата или ретината, докато източниците на оптично полихроматично лъчение много рядко могат да представляват такъв риск. Научната несигурност по отношение на праговете за биологичен ефект за облъчване с лазерно лъчение, получени с използване на broad-band и narrowband (излъчващи в широк или тесен спектър) източници, често налага прилагане на допълнителни редукиционни фактори за получаване на границите на експозиция за лазерни лъчения, които при полихроматичните лъчения не са необходими.

Доколкото е възможно граничните стойности на експозиция за оптичните полихроматични лъчения са близки до тези за лазерните. В ултравиолетовия диапазон и за при опасности за ретината има две групи от гранични стойности, които по същество са еквивалентни. Въпреки това, с цел удобство, граничните стойности за ретината се изразяват в различни величини, тъй като по подразбиране условието за лазерно лъчение е малък източник, докато при не-лазерни източници, само extended (не точкови) източници могат да представляват опасност за ретината. За лазерите е от съществено значение да се определят и специфични прагове за ултракъси импулси.

Гранични стойности на експозиция (максимално допустими стойности/ пределно допустими нива) за лазерни лъчения

За отразяване на спектралната зависимост на биологичните ефекти и спецификата и оптичните характеристики на различните биологични тъкани при определяне на граничната стойност, получените експериментално и/или чрез модели гранични стойности (EL), се умножават с корекционни фактори:

$$EL(\lambda) = EL_{min} \times \text{приложими корекционни фактори,}$$

където EL_{min} е минималната гранична стойност за съответната дължина на вълната; корекционните фактори често са повече от един и са в зависимост от дължината на вълната и други характеристики на лазерното лъчение.

За отразяване на спектралната зависимост на биологичните ефекти

- **Корекционен фактор C_A** , който се дефинира за диапазона от 400 nm до 1400 nm и е свързан със зависимостта на абсорбцията на пигментния епителен слой на ретината от дължината на вълната; същият коефициент е използван и при граничните стойности за кожата;
- **Корекционен фактор C_B** , който се дефинира за диапазона от 400 nm до 600 nm и е свързан със зависимостта на фотохимичното увреждане на ретината от дължината на вълната;
- **Корекционен фактор C_C** , който се дефинира за диапазона от 700 nm до 1400 nm и се основава на пропускането на вътрешните структури на окото преди ретината от дължината на вълната.

За отразяване на зависимостта от размера на изображението/петното върху ретината

- **Корекционен фактор C_E** - прилага се за условия на наблюдение на не точков източник, например при дифузно отражение в диапазона от 400 nm до 1400 nm, като се счита, че граничната стойност може да бъде увеличена, при условие, че ъгловият размер на източника, определен на нивото на окото на наблюдателя, е по-голям от 1,5 mrad ($\alpha_{\min}$), т.е. когато източникът не може да се счита за „точков“.

Забележка: Оптичните свойства на окото ограничават минималния ъглов размер на източника, който то може да възприеме. В контекста на защитата от лазерни лъчения „точков“ източник е такъв източник, чийто ъглов размер е по-малък от 1,5 mrad ($\alpha_{\min}$). Източници, чийто ъглов размер е по-голям от $\alpha_{\min}$ са „не точкови“ (extended) източници.

За отразяване на зависимостта на адитивността на въздействие при множество и повтарящи се импулси

- **Корекционен фактор C_p** – прилага се, за да се отрази адитивността на въздействието за термично увреждане при лазерни източници с множество импулси.
- Критично време на експозиция – прилага

се за преход между прагове/гранични стойности, които зависят от продължителността на експозицията и постоянни прагове за плътността на мощност;

- Критично време на експозиция T_1 , под което термичната граница за експозиция на ретината е по-ниска от фотохимичната граница за случая на малки източници ($\alpha < 1,5$ mrad) (получена чрез приравняване на двете граници за експозиция за случая на малки източници);
- Параметърът T_2 показва зависимия от размера на петното преход между гранична стойност, която зависи от продължителността на експозицията за не точкови източници и постоянната плътност на мощност за експозиции с продължителност T_2 . Той също се получава от зависимостта на движението на очите от времето.

Определени са отделни гранични стойности („двойни“) по отношение на термичното и фотохимичното увреждане на ретината при различна дължина на вълната, продължителност на импулса и размер на петното върху ретината. При прилагане на тези гранични стойности за конкретен случай на експозиция с видимо лазерно лъчение, следва да са спазени и двете стойности.

Забележка: В някои от нормативните документи се използват термините „максимално допустима експозиция (MPE)“, граница за достъпната емисия (AEL) вместо ГСЕ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наредба № 5 за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на изкуствени оптични лъчения, ДВ бр. 49, 2010 Grigoriev Yu. – The Regulation of Radiofrequency EMF in General Public of Russia: Retrospective Survey and Current Viewpoint, Electromagnetic Fields and Human Health. Fundamental and Applied Research, September, 17-24, 2002, Moscow - St. Petersburg, Round Table.
2. Directive 2006/25/EC of the European parliament and of the council of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)

3. Framework for Developing Health-Based Standards, ISBN 92 4 159433 0, WHO, Geneva, Switzerland
4. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 µm; Health Physics 105(3):271-295; 2013
5. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to incoherent visible and infrared radiation, Health Physics 105(1):74-96; 2013
6. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics 87 (2): 171-186; 2004.
7. International Project "Electromagnetic fields", WHO, Geneva, 1997 – 2020.
8. Israel M. – Questions and Answers concerning Standard Harmonization Process in Eastern Europe, Electromagnetic Fields and Human Health. Fundamental and Applied Research, September, 17-24, 2002, Moscow - St. Petersburg, Round Table.
9. Israel M.- Standards and Regulations for EMF Exposure in Bulgaria, Eastern European Regional Meeting and Workshop "Measurements and Criteria for Standard Harmonization in the Field of EMF Exposure", and WHO EMF Standards Harmonization Meeting", held in Varna, Bulgaria, 28 April to 3 May 2001, Proceedings, Editors: M. Israel, M. Repacholi, Sofia, Foundation "Faraday", 2002, pp. 99-104.
10. Israel M. - Philosophy of Standards in Eastern Europe and Ideas for Standards Harmonization, Proceedings, Eastern European Regional EMF Meeting and Workshop "Measurements and Criteria for Standard Harmonization in the Field of EMF Exposure" and WHO EMF Standards Harmonization Meeting", held in Varna, Bulgaria, 28 April – 3 May 2001, Bulgaria, Editors: M. Israel, M. Repacholi, pp.67-74.
11. Israel M., P. Tchobanov, P. Tomov - Exposure Assessment of Electromagnetic Radiation in the Near and the Far Field Zones. Restrictions in the Dose Evaluation, Eastern European Regional Meeting and Workshop "Measurements and Criteria for Standard Harmonization in the Field of EMF Exposure", and WHO EMF Standards Harmonization Meeting", held in Varna, Bulgaria, 28 April to 3 May 2001, Proceedings, Editors: M. Israel, M. Repacholi, Sofia, Foundation "Faraday", 2002, pp. 155-162.
12. Israel, M., P. Tchobanov - One Possibility to Settle the Differences between the "Dose Approach" and SAR Values – Proceedings of the WHO Meeting on EMF Biological Effects and Standards Harmonization in Asia and Oceania, 22 – 24 October 2001 in Seoul, Republic of Korea, p. 120.
13. Model Legislation for Electromagnetic Fields Protection, ISBN 92 4 159432 2, WHO, Geneva, Switzerland
14. Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC "artificial optical radiation", ISBN: 978-92-79-16046-2; DOI: 10.2767/74218
15. Paltzev YP, GA Suvorov – Methodology of Hygienic Standardization of Electromagnetic Fields and their Harmful Effects Evaluation on Man, Electromagnetic Fields, Biological Effects and Hygienic Standardization, WHO, Proceedings, Moscow, 1998. P.11-20.
16. Petlenko VP, ML Reznik – Philosophical Aspects of the Theory of Norms, and the Problem of the Standards Development, Methodological Questions of Hygienic Standardization of Non-Ionizing Radiation, Moscow, 1977, p.9-15.
17. Principles of Study of the Biological Effects of Radiowaves, Methodological Guide, Leningrad, 1974.
18. Radiofrequency Radiation Hazards, Exposure Limits and their Implications for Broadcasters, Tech. 3278-E, European Broadcasting Union, Geneva, February, 1995, p.81-84.
19. Savin BM – Problem of Hygienic Standardization of Radiofrequency Electromagnetic Radiation, Methodological Questions of Hygienic Standardization of Non-Ionizing Radiation, Moscow, 1977, p.16-23.
20. Savin BM – Problem of Hygienic Standardization of Radiofrequency Electromagnetic Radiation, Methodological Questions of Hygienic Standardization of RF EMR, Moscow, 1979, p.12-42.
21. D. Sliney, M. Wolbarsht – Lasers and other optical sources, NY and London, 1981.
22. Stranks JW – The Handbook of Health and Safety Practice, ed. PITMAN, 2002, p. 153-159.
23. Subbota AG - Methods for studying and principles for evaluation of Experimental Data in Standardization of Radiofrequency Fields, Methodological Questions of Hygienic Standardization of Non-Ionizing Radiation, Moscow, 1977, p.28-32.
24. Subbota AG, BA Tchuchlovina – Methods, Studies and Evaluation of Experimental Data on RFR Standard Development, Methodological Questions of Hygienic Standardization of RF EMR, Moscow, 1979, p.60-72.

ГЛАВА 12

Политика на международните организации за ограничаване на риска. Предупредителен принцип / принцип на превантивност

Политиката за ограничаване на риска от въздействието на нейонизиращите лъчения се въвежда от Световната здравна организация за първи път през 1996 г., със стартирането на Международния проект „Електромагнитни полета“. Основните документи по отношение на политиката, свързана с ограничаване на въздействието на електромагнитните лъчения върху човека (без оптичния диапазон), публикувани от СЗО през последните години, са следните:

- *Model Legislation for Electromagnetic Fields Protection*;
- *Framework for developing Health-Based EMF Standards*.

Двата документа представляват основа за разработване на стандарти за защита от ЕМП. Първият документ осигурява рамка за подпомагане на администрацията да въвежда съответно национално законодателство, което създава условия за реална защита на населението от облъчване с ЕМП. Във втората публикация е представена дефиниция за стандарт: „Стандартът е общо наименование едновременно за законодателство и ръководство и може да бъде определен като мрежа от изисквания и правила за осигуряване на безопасност за индивида или за група от хора.“

Моделът за законодателство съдържа 3 елемента:

- „A Model Act“ (Акт – модел) – дефинира определена администрация, която да инициира законодателство и да определи гранични стойности на експозиция за облъчване на населението с ЕМП в честотния обхват от 0 Hz до 300 GHz;
- „A Model Regulation“ (Модел на законодателство), който описва детайлно приложението, граничните стойности и процедурите за съответствие, които се осигуряват със законодателен акт, с цел защита на населението от въздействието на ЕМП;
- „An Explanatory Memorandum“ (Описание), описващо подходите, приети в „Акта“ и в „Законодателството“.

Трите части са разработени по Международния проект на СЗО „Електромагнитни полета“, описан в началото на настоящото Ръководство.

Граничните стойности на експозиция, описани в „Акта“ са тези, препоръчани от международната организация ICNIRP и приложени на практика в Директива 2013/35/ЕК за защита на работещите от въздействието на ЕМП, и в Препоръка 1999/519/ЕК за защита на населението от въздействието на ЕМП.

Втората част – „Моделът“, включва дефиниции на „неблагоприятен здравен ефект“; „въздействие и гранични стойности на експозиция“; облъчване в работна среда и в околна среда (за работещи и население); „работник и обучен работник“; „основни ограничения и референтни стойности“; също и какво представлява „апаратура“, „съоръжение“, „източник“, „измервателно устройство“, „електро-медицинска апаратура“, „фантом“. Тук се въвеждат и термините „агенция, отговорен министър, съответствие, декларация за съответствие“, представящи съвременното виждане по тези проблеми. Като примерът, министърът е „съответното отговорно лице или премиерът, които представляват определено ведомство или държавата“.

Дефинираният в „Модела“ „Министър“ е отговорното лице, определено от Президента

или Премиера и ръководещ съответната държавна администрация (министерство)“, а „Агенцията“ е номинираната институция, която е съветническата организация, действаща от името на Министъра и осигурява действието на законодателството в държавата“.

Съответствието с граничните стойности се осигурява от отговорния министър по следния начин:

- Чрез предписания за наблюдение чрез измерване или изчисления, мониторинг на електромагнитната експозиция върху работещите и населението;
- Чрез предписания за намаляване на експозицията при източници, които не са в съответствие с приетите гранични стойности;
- Чрез изискване за измерване и мониторинг около източниците на ЕМП;
- Чрез прилагане на санкции, където не са спазени изискванията на законодателството.

Министърът изисква от индустрията, от операторите да осигурят съответствие с приетото законодателство чрез измервания, сертификати за съответствие, прилагайки методология, която е приета и утвърдена от отговорния министър. Той също може да изисква тестване на апаратурата, измервания, оценки, свързани с осигуряването на това съответствие.

Важна функция на „Министъра“ е оторизирането на подходяща административна единица („Агенция“), която осигурява действията, свързани с достигане на съответствие с приетото законодателство.

Една основна част от действията, за които следи министърът, е собственикът на обекта-излъчвател да осигури съответни превантивни мерки за намаляване на излъчването, както и за постигане на съответствие с граничните стойности. Необходимо е също да се осигури обучение и здравно наблюдение на работещите в условия на ЕМП.

Всички данни от измервания и мониторинг трябва да се събират в бази данни, за които отговаря министърът, като информация за тях може да се дава само с негово разрешение.

Интересна част в „Модела“ е тази, в която се дефинират част от работещите като население, за което действат по-стриктни гранични стойности спрямо тези в работна среда:

- *Работници, които споделят една и съща среда с населението, по силата на характера на услугата, която те предоставят;*
- *Жени, които са декларирали пред работодателя си, че са бременни;*
- *Работници с метални протези, кардиостимулатори, дефибрилатори и други електро-медицински уреди, които се повлияват от въздействието на ЕМП по време на тяхната работа;*
- *Работници, които не са преминали през съответно обучение за работните места, където се надвишават основните ограничения.*

„Моделът за законодателство“ дава разяснения за методите за измерване, неточностите при измерването, изчисленията и оценката на въздействието, как се оценява съответствието, изследването на „най-лош възможен случай“ за човека по отношение на облъчването с ЕМП.

Вторият документ – „Рамката“, дава възможност на страните, които не желаят да възприемат като гранични стойности препоръките на ICNIRP, да разработят свои хигиенни норми, но достатъчно качествени, че с тях да се осигурят здраве и безопасност за работещите и населението.

Световната здравна организация задава определени въпроси към страните, които са решили да въведат различни гранични стойности:

- Дали международните стандарти не осигуряват достатъчно адекватна защита от въздействието на ЕМП?
- При разработването на национални стандарти, какви са действителните ползи за здравето, които искаме да постигнем?
- Дали разработването на различни, по-стриктни гранични стойности и съответните процедури за съответствие, отговарят на перспективата за осигуряване на здраве при съответно съотношение „риск-полза“?
- Дали по-стриктните норми няма да се явят

барьера за новите технологии, които могат да допринесат значителна полза за здравето, а също така и да възпрепятстват свободното движение на стоки и услуги?

- Дали причините за това да се въведат различни норми, не се дължи на повишена загриженост от страна на населението и дали след въвеждането им този проблем няма да се изрази с по-голяма сила?

Процедурата за въвеждане на различни от препоръчаните гранични стойности включва няколко стъпки:

- Избор на научна база и на определени публикации, които да се приложат в процеса на оценката, на основата на разработени критерии за оценка на литературата
- Оценка на риска на базата на научната литература, като се степенуват публикациите по съответните критерии за оценка и по тежестта на доказателствата
- Определяне на гранични стойности по съответните критерии за оценка и с вземане под внимание на механизмите на взаимодействие на ЕМП с биологичните тъкани
- Избор на фактор за безопасност (коефициент на хигиенен запас) за случаите, когато въздействието е значително, за различни популации или когато има съответно ниво на несигурност на научните резултати
- Определяне на пределно-допустимите нива – основни ограничения и референтни стойности, със съответна екстраполация за случаите, за които няма достатъчно данни от изследвания
- Накрая, осигуряване на приложимостта на нормите чрез въвеждане на съответни поддържащи документи, мерки за осигуряване на съответствие, системи за мониторинг.

В нашата страна е разработена политика за въвеждане на пределно-допустими нива за защита на работещите и населението, въз основа на препоръчаните от СЗО документи.

Тази политика ще представим чрез кратко описание на официалното писмо на министъра на здравеопазването до Премиера на Р България и до Министерския съвет за въвеждане на изменения в закона за здравето.

„На основание чл. 32, ал. 1 от Устройствения правилник на Министерския съвет и на неговата администрация внасям за разглеждане проект на Решение на Министерския съвет за одобряване на Закон за изменение и допълнение на Закона за здравето.

С проекта на Закон за изменение и допълнение на Закона за здравето се предвижда създаването на нов раздел VIa „Защита от въздействието на нейонизиращи лъчения“ в глава втора „Дейности по опазване на здравето“. В предложени нов раздел са отразени основните положения, залегнали в Препоръка 1999/519/ЕО за ограничаване на експозицията на населението от електромагнитни полета.

Проектът предвижда с наредба на министъра на здравеопазването да се определят максимално допустимите нива на въздействие върху човека на електрически, магнитни и електромагнитни полета в честотния обхват от 0 Hz до 300 GHz, излъчвани от обекти с излъчващи съоръжения, които по своето основно предназначение излъчват, пренасят или трансформират електромагнитна енергия, и които могат да въздействат на човека.

Предлага се да се създаде процедура по съгласуване на хигиенно-защитна зона за всеки обект с излъчващи съоръжения, по чиято граница върху земната повърхност и/или над нея, се установяват стойности по-малки или равни на максимално допустимите нива, извън която не е възможно възникването на неблагоприятни ефекти върху здравето на човека, причинени от въздействието на електромагнитното поле. Хигиенно-защитната зона ще се съгласува от главния държавен здравен инспектор.

С проекта се прецизира определението за обектите с излъчващи съоръжения по § 1, т. 9, буква „ф“ от допълнителните разпоредби на Закона за здравето и се дава легална дефиниция на понятието „нейонизиращи лъчения“.

Предвижда се Министерството на здравеопазването да създава и поддържа публична информационна база с данни за обектите с излъчващи съоръжения, като всеки гражданин ще има право да получи информация за нивата на електрическите, магнитните и електромагнитните полета, без да е необходимо да доказва конкретен интерес.

Предвижда се и задължение за Министерството на здравеопазването, Националния център по общественото здраве и анализи и регионалните здравни инспекции за информиране на населението за въздействието на нейонизиращите лъчения върху здравето на гражданите, както и за мерките за ограничаването му.“

Цитираният **Раздел VIa „Нейонизиращи лъчения“** в Закона за здравето включва почти всички изисквания, поставени в „Модела за законодателство“ на СЗО, а именно:

- Определя се „отговорен министър“ за защита на населението от въздействието на ЕМП и това е здравният министър;
- Определя се „Агенция“, която да обучава контролните органи, да разработва методите за оценка на експозицията и риска и да осигурява съответствието със законодателните мерки, като това е Националният център по общественото здраве и анализи (НЦОЗА) към Министерството на здравеопазването;
- Въвеждат се гранични стойности на експозиция (основни ограничения) в труднодостъпните зони за човека, като планински райони, покриви на сгради и други подобни, с което се въвежда прилагането на Препоръка 1999/519/ЕК за защита на населението;
- Въвежда се система за контрол на обектите чрез оценка на хигиенно-защитните зони и последващо измерване на стойностите на ЕМП;
- Данните от измерванията се събират от НЦОЗА в база данни, като информацията се предоставя на административните и контролните органи за прилагане на санкции или за последващ контрол;
- Информация за населението се дава съгласно Закона за предоставяне на информация при съответно искане и съгласно изискванията за защита на конкуренцията.

Наредбата, която се цитира в раздел „Нейонизиращи лъчения“ в Закона за здравето, включва граничните стойности на експозиция, като те запазват по-стриктните хигиенни норми за населението, приети у нас през 1991 г. за жилищните райони.

Наредбата включва освен хигиенните норми, също и методите за измерване; методите за изчисляване на основните ограничения от референтните стойности; методите за оценка на хигиенно-защитните зони около комуникационни системи, излъчващи в населените места; методите за сумиране на ЕМП с различни честоти; предупредителни знаци и табели.

Превантивният принцип (Precautionary Principle)

Данни за първите научнообосновани ранни предупреждения за потенциални вреди в резултат на екологични опасности, до последващите предпазни и превантивни мерки, които следва да се вземат, са разгледани от Европейската агенция за околната среда през 2001 г. („Закъснели уроци от ранни предупреждения: Предупредителен Принцип 1996-2000“, ЕЕА, 2001). Този документ въвежда някои дефиниции и въпроси за тълкуване, които възникват от доклада на Агенцията и дискутира определени екологични теми, като: природата на знанието; определенията за предпазна мярка, превенция, риск, несигурност и незнание; използването на диференцирани нива на доказване на ефекта; естеството и основната посока на методологическите и културните пристрастия в рамките на науката, свързани с изследване на околната среда. Тези въпроси са от голямо значение и за ЕМП като фактор на околната среда.

Докладът не посочва спецификата на рисковете от ЕМП, а оставя на читателя да приложи или не т.нар. **„Дванадесет урока“**, с които завършва докладът. Тези „уроци“ се опитват да синтезират историческия опит от различни случаи, които могат да помогнат за определяне на политиката на вземане на решения по конкретни въпроси, като например: ГМО, нанотехнологии, мобилни телефони, вещества, увреждащи ендокринната система, при които има налични ретроспективни данни, но са и широко разпространени и това разпространение нараства неимоверно.

Идеята на дванадесетте урока е специалистът да се възползва максимално от минал опит, да се предвидят бъдещи изненади, като същевременно се има предвид, че историята никога не се повтаря по същия начин.

Заедно с най-добрите налични научни данни, уроците имат за цел да спомогнат за намаляване на опасностите, без да се прави компромис с иновациите. „Уроците“ са посочени по-долу:

А. Идентифициране/изясняване на формулировката и предположенията

1. Термини, като „управление“, „риск“, „несигурност“ (неопределеност) и „незнание“;
2. Определяне/намаляване на „белите петна“ в науката;
3. Оценка/равносметка на всички плюсове и минуси, свързани с прилагане на действие/бездействие;
4. Анализ/оценяване на алтернативни възможности;
5. Обръщане на внимание на заинтересованите страни;
6. Избягване на „бездействие чрез анализ“, като например предприемането на действия за намаляване на опасностите чрез прилагане на превантивния принцип.

Б. Разширяване на оценката на информацията

7. Определяне/намаляване на интердисциплинарни пречки пред повишаването на знанията (учене);
8. Определяне/намаляване на институционалните пречки за учене;
9. Използване на „утвърдени“, местни, както и специализирани познания;
10. Определяне/изпреварване на условията в „реалния свят“;
11. Осигуряване на регулаторна и информационна независимост;
12. Използване на по-дългосрочни (т.е. в продължение на десетилетия) мониторинг и изследвания.

Ранното (навременно) прилагане на предпазни мерки

The Vorsorgeprinzip, или принципът „далновидност“, се появява само като специфичен инструмент в политиката по време на германските дебати за възможната роля на замърсяването на въздуха, като причина за „смъртта на горите“ през 1970-80 г. Въпреки това, Джон Греъм, един от научните съветници в кабинета на Буш и явнителен критик на принципа на предпазните мерки, отбелязва че: „*Превантивността, независимо от това дали*

е описана формално като принцип или не, е служила на човечеството в миналото, а историята на общественото здраве ни инстуктира да запазим жив духа на предпазната мярка“. (Graham 2002). Греъм вероятно е мислил за случая на холера през 1854, когато предпазната мярка действително е послужила добре на хората в Лондон. Д-р Джон Сноу, лондонски лекар, използва предпазна мярка, за да даде съвет за забрана на достъпа до замърсените води на Broad St. pump, която той подозира, че е главната причина за избухването на холерата. Той основава своята препоръка на базата на доказателствата, които е натрупвал в продължение на няколко години, включително изследването си на популации от Южен Лондон, обслужвани с вода както от тръбопровод, така от кладенец. Вижданията на Сноу за причинно-следствената връзка за появата на холера не се споделят от Кралския колеж на лекарите, които отхвърлят тезата на Сноу като „несъстоятелна“, тъй като те и други „авторитети“ на деня смятат, че холерата се причинява от въздушни замърсявания. Този конкретен случай на научна „сигурност“ скоро се оказва лъжа с отстраняването и на последните останали съмнения, след като Кох в Германия изолира холерния вибрион през 1883.

Установяването на връзката между излагането на води, замърсени с човешки изпражнения, и холера, наблюдавана от Сноу през 1854 г., и „механизмът на действие“, открит от Кох, отнема 30 години научни изследвания. Такъв дълъг период от време между признати убедителни асоциации и разбиране на механизмите им на действие е обща характеристика на научното изследване, като случаите на TBT (белодробно заболяване), DES (Diethylstilbestrol и свързаното с него раково заболяване), замърсяването на големите езера, хормони в говеждото месо и други случаи, илюстрирани в доклада на ЕЕА.

По принцип знанието, както и незнанието в областта на околната среда изискват и превенция, и прилагането на съответни предпазни мерки.

Представените примери по-горе служат само за илюстрация на естеството на знанието. Днешните научни знания могат да бъдат утвърдените грешки, и днешните изследвания

могат както да намалят, така и да увеличат научните колебания, тъй като границите на „известното“ и „непознатото“ непрекъснато се разширяват. Изчакването на резултати от повече изследвания, преди да се предприемат действия за намаляване на вредните експозиции, може не само да отнеме десетилетия, но новото знание може да идентифицира неизвестни досега източници на несигурност и незнание, което от своя страна да доведе до допълнителни причини за бездействие. След това може да последва цитираното по-горе „бездействие чрез анализ“.

Ако се обърнем към мъдреците от историята, те казват: „Колкото повече знаем, толкова повече осъзнаваме това, което не знаем“ (Сократ) и това не е необичаен научен опит. Самият Сократ е отбелязал: „Аз съм най-мъдрият жив човек, защото знам едно нещо, и то е, че аз не знам нищо“. Това е един от първите уроци по смирение, забравен от много учени и политици, които често поставят това, което се оказва „неуместна сигурност“ в днешното научно познание: т.е. трябва да се приеме, че несигурността може да бъде намалена и не може да нарастне, като това може да стане само с по-нататъшни изследвания.

Във философията на неопределеността в науката е важно да се прави разлика между *несигурност* и *незнание*.

Незнание е да се разбира, че днешните знания са много ограничени: то е източник на научни изненади, като например дупката в озоновия слой, ракът мезотелиом, породен от азбест и др. То е различно от неяснотите, които произтичат от пропуски в знанията и от вариациите при вземане на проби и мониторинг; от променливост на параметрите; от допускания в модела; от опити за приближения и прогнозиране на дадености в модела.

Предвиждането и предотвратяването на рискове, в контекста на незнанието, представя особено предизвикателство пред вземащите решения. На пръв поглед изглежда невъзможно да се направи всичко за избягване или смекчаване на „изненади“. А незнанието гарантира, че винаги ще има изненади. В доклада са описани някои мерки, които биха могли да спомогнат за ограничаването на по-

следствията от незнанието, но тук няма да ги обсъждаме подробно. Те са свързани с установяване на предикторите (прогностичните фактори) при въздействие, намаляване на специфични експозиции на потенциално вредни въздействия върху човека, насърчаването на многообразието от стабилни и адаптивни технологични решения, с цел ограничаване на „изненадващи“ въздействия, използване на дългосрочни изследвания и мониторинг чрез прилагане на чувствителни индикатори за изследване на въздействието на вредния фактор.

Едновременно с това е важно да се прави разлика между *превенция* и *предпазливост*. Разликата между превенцията и предпазната мярка също е от значение за прилагането на превантивния принцип. Предотвратяване на опасности от „познати“ рискове е сравнително лесно и не изисква предпазни мерки.

Забраната за пушене или забраната за използване на азбест днес се нуждаят от актове на превенция, за да се избегнат добре известни на човечеството рискове. Въпреки това, би имало нужда от предпазна мярка (или предвидливост, въз основа на достоверност на доказателствата), за да има обосновани действия, за да се избегне тогавашното излагане на риск от азбест през 1930-50 г., или на тютюнев дим от 60-те години.

Ако такива предпазни действия са били приложени успешно тогава, щяха да се спасят много повече човешки животи в Европа, отколкото е постигнато с днешните забрани за азбест и пушене.

В случаите на електромагнитното въздействие върху населението, принципът на превантивност е въведен почти в началото на процесите на страхове сред населението.

“Превантивният (предупредителен) принцип” обикновено се прилага, когато има висока степен на научна несигурност и трябва да се предприемат действия по потенциално сериозен риск без да се изчакват резултатите от научните изследвания. Т.е. той отговаря за потенциален риск в бъдеще и дава отговор на въпросите на населението в настоящ момент.

Въпреки че нормативните документи и пра-

говете на вреден ефект, цитирани в тях, се основават на най-добрите доказани в настоящия момент научни доказателства, остават съмнения поради липсата на сигурност при процеса за оценка на риска. Дори за доказаните ефекти, праговете за патологични промени (например, изгаряне при въздействие с микровълни) варират между отделните индивиди при различни условия на въздействие.

Една още по-сложна форма на несигурност се отнася до възможното съществуване на риск от продължително (хронично) въздействие с ниски нива. По принцип, не е възможно да се докаже, че така опасност няма. Идентификацията на подобни рискове изисква доказателства от епидемиологични изследвания, както и от експерименти с животни, водещи до интерпретация и доказване на значими здравни ефекти.

За да се даде отговор на подобни неопределености, Европейският съюз, както и СЗО препоръчват подходи, базирани на концепции като **Принципа на предупреждение (превантивност) - Precautionary Principle, Благоразумното избягване – Prudent Avoidance, и ALARA.**

Принципът на внимание (превантивният принцип) е политика на управление на риска при условия на висока степен на неопределеност от страна на науката, която рефлектира върху необходимостта от действия като за потенциално сериозен риск, без да се изчакват резултатите от науката. Принципът предполага да се взимат мерки за избягване на увреждане, въпреки че не е сигурно, че то може да се случи. Този принцип е общ подход към риска и не се отнася специално към един или друг фактор.

За страните от ЕС, Договорът от Маастрихт (1992) постановява, че *Принципът на превантивност може да бъде адаптиран там, където има "достовърни доказателства", че някой фактор уврежда здравето.* В зависимост от силата на доказателството, действията могат да варират от предпазване или елиминиране на експозицията, адаптирани към ефективни разходи, до просто обсъждане на действията.

Като приложение на този принцип, Евро-

пейският съд постанови решението на Европейската комисия да забрани ползването на говеждо месо от Великобритания, с цел ограничаване на риска от разпространение на болестта "луда крава". Ето един цитат от това решение:

"Там, където има неопределеност по отношение на съществуването или разширяването на рискове за човешкото здраве, Комисията може да предприеме защитни мерки, без да изчаква до момента, когато този риск ще доведе до заболявания."

Благоразумното избягване е по-ранна форма на Принципа на превантивност, развита специфично за ЕМП. Принципът на превантивност е предложен като възможна политика в САЩ (от Drs Granger Morgan, Florig и Nair в Carnegie Mellon University). В отчета на Американския департамент по оценка на технологиите през 1989 г., се формулира благоразумното избягване като *"да се вземат мерки за опазване на населението от електромагнитните полета чрез реконструиране на излъчващите системи и ново проектиране на електрическите системи и съоръжения."* Благоразумието е дефинирано като *"да се предприемат такива действия на избягване, които да са със скромни средства"*.

От 1989 г. "благоразумното избягване" означава да се предприемат прости, лесно постижими, нискоструващи мерки за намаляване на въздействието, въпреки липсата на демонстративен риск. Термините "прости", "лесно постижими" и "нискоструващи" не са дефинирани.

Голям брой страни, напр. Австралия, Швеция, някои Американски щати – Калифорния, Колорадо, Хавай, Ню Йорк, Охайо, Тексас и Уисконсин, са адаптирали този подход в своите нормативни документи за защита от нейонизиращи лъчения. Други щати – напр. Ню Джърси, отхвърлят политиката на благоразумното избягване, на основата на липса на достовърни доказателства и на консенсус между учените по отношение на риска. Щатите, които са адаптирали този принцип, интерпретират взимането на мерки за защита на населението при скромни средства – напр. за Калифорния не повече от 4% от общата

цена на проекта. Такива мерки включват преместване на електропроводи далеч от училищата, фазиране на проводящите части на електропроводите, с цел намаляване на магнитния поток и др.

През 1993 г. Шведското правителство въведе подхода на благоразумното избягване, като го дефинира чрез мерки за намаляване на СНЧ магнитни полета при монтиране на електрически съоръжения в и в близост до домовете в случай, че е безпроблемно и не се увеличава цената. Указанието казва: *“Ако мерките за намаляване на полетата могат да бъдат взети при разумна цена и при разумни последиствия, при всички други равни условия, трябва да бъде направено усилие за намаляване на ЕМП до стойности, нормални за околната среда. Когато се предвиждат нови електрически инсталации, усилията трябва да се отнасят до конструкцията и монтажа на съоръженията така, че да се ограничава облъчването на населението.”*

В САЩ нито една държавна институция не препоръчва прилагането на този принцип. Въпреки това, съществуват предложения на Националния институт за наука за здравето и околната среда” (NIEHS), като например: *“електрическата промишленост да продължава досегашната си практика да монтира електропроводи, като спазва изискванията за намаляване на облъчването, както и да експлоатира системите така, че магнитната индукция да е с ниски стойности, не създаващи опасност за населението. Ние също окуражаваме технологиите, свързани с разпределението на електрическата енергия в близост до домовете, да се проектират и монтират така, че да се минимизира рискът от електрически шок и пожар.”*

Третият принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable) е политика на поддържане на нивата на облъчване далеч под праговете за неблагоприятен ефект. Това става, разбира се, с уговорката за разумния подход, като се вземат предвид разходите, технологиите, ползите по отношение на здравето на населението и безопасността на други социални и икономически съображения.

Принципът ALARA е използван като политика

главно **при защита от йонизиращите лъчения, където линейната крива доза–отговор**, както и фундаменталните механизми на въздействие, са широко възприети. Това означава, че риск се очаква при всякакви нива на облъчване. Има, обаче, несигурност по отношение на формата на зависимостта доза-ефект при много ниски нива на облъчване. Точно тези неясноти, както и сериозната природа на здравните ефекти (генетични увреждания, рак), обяснява прилагането на принципа ALARA при облъчване с йонизиращи лъчения.

Разбира се, този принцип не е подходящ за широко приложение по отношение на останалите физически фактори.

В Европа, превантивната политика най-общо е поставена в рамките на термина *“Принцип на превантивност”*, като Договорът на Европейския съюз се основава на европейската политика за околната среда. За да се избегне регулираното прилагане на *“Принципа на превантивност”*, Европейската комисия през 2000 г. прие следните инструкции за прилагане на политиката на превантивност в ЕС:

- Приспособяване към избрани нива на защита;
- Да няма дискриминация при прилагането ѝ, т.е. близки ситуации да се третират по подобен начин;
- Съгласие с взети вече мерки за защита, т.е. да се ползват приложени вече методи, основани на научни доказателства;
- Основаване на изпитания за потенциалните ползи и цени за действия или при липса на действия, включително, където е необходимо ползване на анализ на зависимостта цена/полза;
- Временност на прилагане на мерките, т.е. при нови научни данни да могат да се променят;
- Отговорност към разработка на нови научни доказателства, необходими за по-точна оценка на риска.

Като международна здравна агенция, Световната здравна организация (СЗО) нормално не съветва националните авторитетни органи да прилагат политика, която не се основава на научни доказателства. Въпреки това, ако цити-

раме Декларацията, подписана в Лондон през 1999 г. от Третата конференция на министрите по околна среда и здраве, СЗО насърчава да се взема предвид *“необходимостта от строго прилагане на Принципа на превантивност при оценка на риска и да се адаптират по-превантивни, активни подходи към рисковете за здравето.”*

В света има борба за и против въвеждането на предупредителния принцип (ПП) за управление на несигурността от изследванията на здравния риск. Някои примери за въвеждане на ПП по отношение на електромагнитните вълни са представени по-долу:

1. Доклад на държавата Израел пред Международния съветнически комитет, СЗО, Женева – 2002 г.

Информацията се отнася до нейонизиращата радиация, излъчвана от мобилни телефони. Препоръчани са следните задължения за маркировка:

“Разпространителят не може да продава мобилен телефон, освен ако не отговаря на изискванията на Наредба, както и ако дейността на фирмата му не отговаря на определени изисквания на Наредба... Това включва маркировка за нивата на облъчване върху мобилния телефон, прилагането на информационна брошура, приложена към паспорта на телефона, както и информация за гражданите на местата на продажба на мобилни телефони, в обслужващите центрове и на web-сайтовете на разпространителите и засегнатите компании.”

2. Доклад на Р Корея на същия форум в Женева - 2002 г. - *“Интереси (загриженост) на населението и комуникация на риска”:*

„Във връзка със загрижеността на населението, се развива дългосрочен план за комуникация на риска, в който ще бъдат включени: създаване и пускане в действие website за ЕМП, производство на видеокасети, относно експозицията на ЕМП, провеждане на множество специални събития, свързани с ЕМП.

Относно мобилните телефони, стойностите на SAR на клетъчните телефони, които

*в момента се срещат на пазара, са измерени и резултатите са публикувани през 2001 г. От 4 април 2002 мандатните разпоредби за праговете за SAR са приложени за мобилните телефони и всички мобилни телефони трябва да преминат съответен тест преди да излязат на корейския пазар. Корейското правителство прие също мандатно правило, което **ограничава използването на мобилни телефони в движещо се превозно средство**. Мотористите трябва да използват устройство **“свободни ръце”**, по време на движение.” Законът е действащ от 1 юли 2001 г.”*

3. Доклад на Швеция в Женева – 2002 г.

„Предупредителният принцип за СНЧ полета, публикуван през 1996 г. от шведската консултативна група по ЕМП, представен от пет национални организации, ще бъде модернизирани. При преразглеждането ще бъде обърнато внимание на научния прогрес, касаещ възможните здравни ефекти, получени до тогава и ще се имат предвид заключенията на Международната агенция по изследване на рака - IARC. Преразгледаната брошура (книжка) също така ще бъде съобразена със Закона за околната среда, който е приет в Швеция през 1999 г. и съдържа в себе си общи насоки по предупредителния подход.”

4. Доклад на Швейцария в Женева – 2002 г.

“Наредбата за предпазване от нейонизираща радиация” е в сила от 1999 г. Тя регулира излъчването от стационарни уредби. Предупредителният принцип е приложен чрез фиксиране на предупредителни ограничения за индивидуалните съоръжения. Тези ограничения са приети в общи линии, но в протоколите от измерванията на ЕМП се предвижда допълнително дискусии с населението. Споменатата горе наредба се занимава с облъчване на населението от стационарни съоръжения, като антенни системи, базови станции или далекопроводи.

Допълнително са приети 10 до 300 пъти по-стриктни (емисионни) норми от тези на ICNIRP за чувствителни райони – трансформатори, електропроводи, подстанции, домаш-

ни електрически инсталации, електрически транспорт, мобилни телефони, радары.

5. Доклад на Русия в Женева – 2003 г.

Препоръките на Руския национален комитет по нейонизиращи лъчения (RNCNIRP) за населението, относно безопасното използване на мобилни телефони са следните:

- *Деца на възраст под 16 години да не използват мобилни телефони.*
- *Бременни жени, да не използват мобилни телефони.*

Страдащи от изброените по-долу болести не трябва да ползват мобилни телефони:

- *Неврологични заболявания;*
- *Намаляване на умствената и физическата дейност;*
- *Загуба на паметта;*
- *Нарушение на съня;*
- *Епилепсия и епилептичен синдром.*

Продължителността на разговорите да се ограничи, максимум до 3 минути и след приключване на разговора, ползващият телефона да изчака минимум 15 минути преди да проведе следващ разговор. Силно се препоръчва използването на устройства “свободни ръце”.

Производителите и разпространителите на мобилни телефони трябва да включат съответна информация, заедно с техническите характеристики.

6. Доклад на Китай от 1999 г. - International EMF Seminar, Женева

ПП е въведен чрез разделяне на въздействието на два класа:

Първи клас граници на облъчване: Безопасност при непрекъснато облъчване за всички хора (включително бебета, бременни жени, стари хора, пациенти и др.).

Втори клас граници на облъчване: Допуска се временно обитаване на хора (заводи, организации, паркове, места за забавления и почивка). Не се допускат да бъдат разположени в жилища, болници, училища, детски градини.

7. Канада – Safety Code 6:

Стандартът определя нива за защита на населението, както и прилагането на ПП:

- *“...Не се допуска населението да има достъп до области, където нивата надвишават определените в Наредбата.*
- *Където е възможен достъп на хора, трябва да бъдат поставени **предупредителни сигнали** на входа на всяко място, където има излъчващи уреди, които могат да създават при нормални условия на работа нива, надвишаващи определените в Наредбата.*
- ***Предупредителни знаци:** Предложените три знака показват природата и степента на риска, свързан с даден уред или местоположение. Природата на риска се изобразява чрез символ, а степента на риска - чрез формата и цвета на знака. Размерът на знака трябва да бъде подходящ за условията на използване, така че да е ясно различим – да е изработен от отражателен материал или да е осветен”.*

Дискусиите по отношение на това какъв принцип на защита да бъде въведен в случаите, когато няма достатъчно доказателства от науката, доведоха голяма част от европейските страни да предприемат действия за намаляване на граничните стойности, без да има достатъчно факти за необходимостта от това.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Model Legislation for Electromagnetic Fields Protection, WHO, Geneva, 2006.
2. Framework for developing Health-Based EMF Standards, WHO, Geneva, 2006.
3. Base stations and wireless networks: exposures and health consequences, Proceedings, International Workshop on Base stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences, WHO, Geneva, 2005.
4. Электромагнитные поля и население, Современное состояние проблемы, Москва, Изд. Российского университета дружбы народов, 2003.
5. Электромагнитные поля и здоровье человека, Москва, Изд. Российского университета дружбы народов, 2002.

ГЛАВА 13

Електромагнитна „свръхчувствителност”. Симптоми. Причини

През последните години често в научната литература се говори за *„електромагнитна свръхчувствителност”*. Тук ще се опитаме да изясним какво представлява тя и в действителност дали оплакванията на различни пациенти са свързани с електромагнитната експозиция. Най-сериозните доказателства за наличието на подобни симптоми сред населението са представените на международната работна среща в Прага през 2004 г., организирана от СЗО.

Независимо от това дали тази диагноза съществува или не, в последно време все повече лица се оплакват от симптоми и синдроми, които те свързват с електромагнитна експозиция. Някои епидемиологични проучвания в страните-членки говорят за това, че повече от 3% от населението имат подобни оплаквания.

След дискусията беше установено, че прилаганото в научната литература понятие *„електромагнитна свръхчувствителност”* не отговаря на действителността и по-добре да бъде заменена с *„чувствителност към електрически ток”*. Причината за тази промяна е фактът, че при повечето изследвания на индивиди, деклариращи себе си като „свръхчувствителни към ЕМП” се оказва, че те имат по-ниско кожно съпротивление и по тази причина – по-голяма чувствителност към електрически въздействия.

На цитираното по-горе работно съвещание за диагностициране на проблема е въведена диагностичната единица *„идиопатичен интолеранс към околната среда”* (*“Idiopathic Environmental Intolerance”*), която включва симптоми, свързани с електромагнитните полета – *IEI-EMF*. Това понятие е въведено

за описание на причинно-следствена връзка на различни симптоми и ЕМП, най-често наричани *„електромагнитна свръхчувствителност”, „електрочувствителност”, „чувствителност към електрическия ток”*. Работната група нарочно не прие наименованието *„симптоми, свързани с въздействие то на ЕМП”*, с цел да се разграничи от лицата, които свързват всякакви здравни неблагоприятия с въздействието на ЕМП и не отчитат влиянието на други фактори на средата, като химични агенти или други въздействия.

Работната дефиниция на това явление е следната: *„Симптоми, които се проявяват в близост до електрически уреди и инсталации или при работа с тях, и които се проявяват като различни степени на дискомфорт или здравни проблеми на определено лице, поради което това лице ги свързва с работата на електрическите уредби.”* В тази дефиниция под електрически уреди, инсталации, уредби се разбира всякакво оборудване, което излъчва ЕМП в честотния обхват от 0 до 300 GHz, като електропроводи, електрически мотори, сешоари, мобилни телефони, базови станции и други подобни.

Тъй като липсва стандартен протокол за описание на симптомите на IEI-EMF, е необходимо по-подробното им разглеждане от лекаря, както следва:

Симптоми

Най-често те са общи и са свързани с кожни и невровегетативни неблагоприятия, главоболие при разговори с мобилни телефони. Трябва да се отбележи, че IEI-EMF не може да се прилага като диагностична класификация. При липса на каквито и да е обективно установени заболявания, диагнозата може да бъде основана на симптомите, като например „главоболие”, като се използва Международната класификация на заболяванията - ICD-10 (International Classification of Diseases) за болести и симптоми или DSM-IV (Diagnostic and Statistical Manual 4th edition) за психиатрични заболявания.

Самостоятелно декларирани или агравирани от лицето източници

- най-общо „електрически уреди“;
- специфично електрическо оборудване с излъчване на ЕМП: видеодисплеи, мобилни телефони, електропроводи, трансформатори и други.

Електромагнитна експозиция

Необходимо е да се прави оценка на електромагнитната експозиция около лицата, които декларират подобни симптоми, с цел да се установи дали измерените стойности на ЕМП са в границите на допустимите.

Времеви аспекти

- Симптомите продължават/не продължават повече от 1 час (или например, 24 часа) след промяна на предполагаемото облъчване – да/не;
- Симптомите нарастват при продължително облъчване – да/не;
- Усещане на облъчването – съответен отговор/взаимовръзка – да/не.

Поведение

- Поведение на избягване на облъчването – да/не;
- Отпуск по болест (ако да: брой дни) – да/не.

Клинични находки

- Патологични резултати при медицински изследвания, като например в кръвните показатели, кожни тестове или при изследване на реакциите на автономната нервна система – да/не;
- При прилагане на провокативни изследвания, индикации за връзката между експозицията (добре установена!) и оплакванията – да/не.

След подробната диагностика, е необходимо да се имат предвид следните

Подгрупи:

Типичната подгрупа от пациенти може да бъде описана съгласно показателите, определени по-горе, с цел да се фокусира върху специфичните групи при експериментални или

епидемиологични изследвания. Тези групи, например, са следните:

- Група от лица без разумна алтернативна диагноза, с преобладаващи кожни симптоми, които се появяват след 1-часова работа с видеодисплей или при работници за част или за цялото работно време;
- Група лица без разумна алтернативна диагноза, с преобладаващи невровегетативни симптоми, които се появяват при 24-часова експозиция от базови станции за мобилна комуникация или от други ЕМП, като например електропроводи с високо напрежение (декларирано от самите индивиди), при работа или в отпуск, като са взети мерки за намаляване на експозицията в дома или на работното място;
- Група лица без разумна алтернативна диагноза, с преобладаващи неприятни усещания в главата, които пациентите разграничават от обикновеното главоболие, като отслабване на паметта, което лицата свързват с използването на мобилни телефони.

Управление и лечение

Необходимо е прецизно да се разгледа медицинската история на пациента за достоверност на декларираните симптоми, с цел свързването им с електромагнитната експозиция (доза-отговор) и за възможна алтернативна диагноза. Медицинското изследване трябва да бъде направено внимателно за оценка на признаци (включително кожни) за алтернативни диагнози.

Пациентите с IEI-EMF страдат от реални здравни проблеми, но няма биологични маркери, които да диагностицират специфично заболяване. Първоначалният фокус на медицинското изследване е да изключи или идентифицира всяка диагноза или физиологично състояние, което изисква конкретно лечение. Важно е да се имат предвид и физиологичните фактори, които могат да повлияят благополучието на пациента.

Някои изследвания на подобни пациенти говорят за наличие на дисбаланс на вегетативната нервна система. Дисбалансът може да се дължи не на въздействието на ЕМП, а на дру-

ги фактори от околната среда, които могат да стимулират симпатиковата нервна система. При това се прилагат стандартните медицински тестове за вегетативната нервна система. В момента на изследването не е ясно дали установените индикации не са предразполагащи за по-нататъшно задълбочаване на симптомите към съответно заболяване.

Прогнозата за пациентите с IEI-EMF е добра, особено за тези, които са се обърнали към лекуващия лекар рано и с предимно кожни симптоми. В този момент е важно да има точна информация за експозицията и лицето да бъде отделено от средата на въздействие. Лечението се базира на оценка на симптомите и степента на инвалидизиране; също на мотивацията на пациента към съответни интервенции, които лекарят има предвид да приложи. Независимо от това, че не се открива ясна причина за заболяването, пациентът се нуждае от продължително наблюдение от страна на лекар или на психолог, който да установи допълнителните психологически условия или вторични ефекти за заболяването, за което не може да се приложи стандартно лечение.

Най-общите препоръки към лекарите при медицинската консултация включват следното:

- Да отделят достатъчно време на пациента и/или повтарящи се визити;
- Да осигурят отношение на доверие и съгласие с пациента;
- Да проследяват състоянието на пациента;
- Да прилагат не осъдителен, а поддържащ подход, но с информиране на пациента за професионалното мнение на специалистите;
- В случай на упорити симптоми, с предимство да се върви към намаляване на инвалидността, вместо да се търсят специфичните фактори, причина за състоянието на пациента.

Необходимост от измерване и намаляване на експозицията

Пациентите, които свързват страданието си с въздействието на електрически или магнитни полета, най-често искат да се извърши измерване на стойностите на ЕМП и да се намали

експозицията. Не винаги се препоръчва да се извършват измервания, тъй като няма доказана връзка между стойностите на ЕМП и симптомите, особено в случаите, когато тези стойности са под допустимите. От друга страна измерванията са важни за работната среда, където е необходимо да се установи съответствие с хигиенните нормативи.

Провокативни изследвания

Такива изследвания се правят по протокол „двойно сън експеримент“, с цел да се докаже причинно-следствена връзка между електрическите, магнитните или електромагнитните полета от една страна, и симптомите, докладвани от пациента, от друга. Провокативно изследване с индивидуални пациенти се прилага след сериозно обсъждане между лекаря и пациента, с информация за възможните усещания и симптоми, както и за методите, които ще бъдат прилагани.

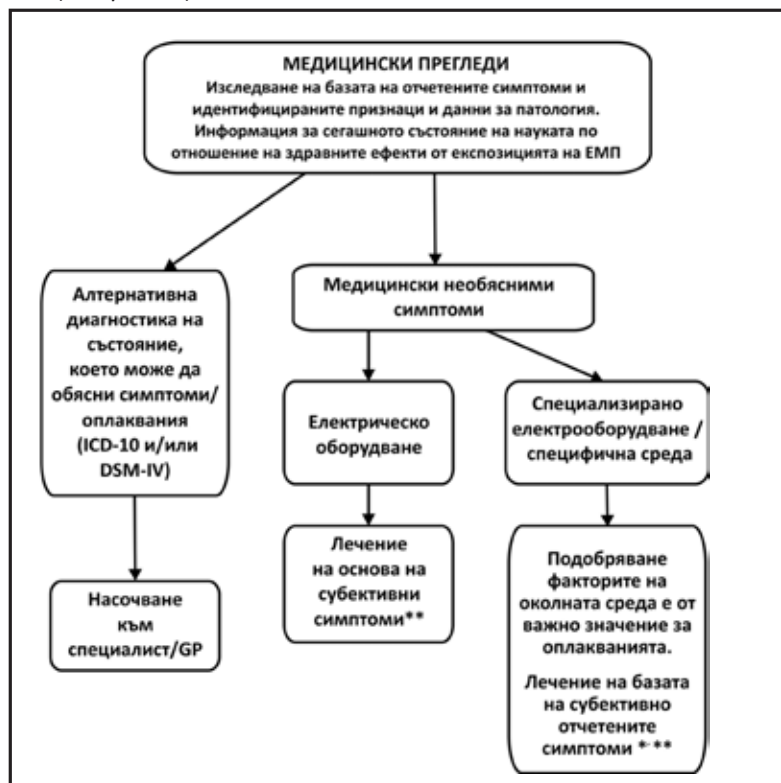
Провокативните изследвания се считат за най-информативните в случая и те могат да дадат данни за възможна връзка между симптомите и ЕМП в случай, че се спазват следните изисквания:

- Разграничаване на потенциално електромагнитно въздействие от физиологичен/психофизиологичен ефект, чрез прилагане на подходящи тестове;
- Прилагане на двойно сън и контролиран чрез плацебо-ефект протокол на изследването;
- Включване на подходяща психиатрична контролна група с подобни симптоми (напр. страх, афективни разстройства, соматоформни реакции);
- Въвеждане на позитивен контролен фактор, напр. друг стресор от околната среда, като шум, трептящ светлинен сигнал или психически стрес;
- Оценка на потенциалните реакции на индивида спрямо времето за възстановяване;
- Характеризиране на условията на провокативното изследване, включващо продължителността на облъчване и на междинното време между експозициите;

- Измерване на електромагнитния фон (той трябва да е много пъти под прилаганите ЕМП за провокативното изследване);
- Обсъждане на доверието на пациента при избора на провокативните фактори (напр. стойности на полето, продължителност на облъчване);
- Прилагане на добре документирана валидирана анкета и тестови процедури с предпочитан отговор „да/не“ (като тестът на Минесота - MMPI-2 тест, или SCL-90R – тест на симптомите);
- Неврофизиологични тестове преди и след изследването;
- Вземане под внимание на характеристики на сигнала на ЕМП, с който се провокира, като честота, модулация, интензитет.

Не съществува хармонизиран протокол за подобно изследване, което изисква съвместна работа между учените и международна колаборация.

Фигура 9. Диаграма на изследване и интервенция при пациенти с IEI-EMF



* Изборът на лечение може да бъде основан на докладвани добри резултати на различни лечения при подобни симптоми при други условия, и могат да включват стратегии за намаляване на стреса и терапия за лечение на когнитивни проблеми.

** Могат да бъдат дискутирани различни възможности за повлияване на човека (напр. използване на „свободни ръце“, намаляване на времето за работа с видеодисплей), но решението за предприемане на действия остава в ръцете на пациента.

Източник:
R. Matthes et al., ICNIRP
5/98, 1997

Епидемиологични изследвания

В настоящото ниво на познание за „свръхчувствителността“, а този вид изследвания не се считат за достатъчно подходящи. Причината за това е следната:

- Липсва дефиниция на „случаи“;
- Възможната реакция на индивида, свързан с въздействието на излъчващото устройство не може да се докаже при подобно изследване, поради наличието на разнообразни източници в ежедневието на хората;
- Нивото на експозиция не може да бъде критерий за избор на експонираната група.

Всичко това изисква специално внимание към проблема, насочено не само към връзката „лекар-пациент“ на индивидуално ниво, но и в посока на комуникация на риска с населението, личните лекари и медицинските специалисти, както и с държавните органи и администрацията.

За информиране на населението СЗО, заедно с международната организация ICNIRP, издаде специална монография (*Electromagnetic hypersensitivity*, ICNIRP, WHO, 2004), включваща следните основни пунктове и препоръки към изследователите:

- Описание/спектр на симптомите на лица с IEI;
- Да не се търси причинно-следствена връзка с въздействие на ЕМП;
- Да не се предпочита описанието на „електромагнитната свръхчувствителност“ като явление, а да се върви към изследване на различни симптоми (дори лонгитудинално изследване в минали периоди на индивидите) сред населението;
- Производителите и търговските фирми да предупреждават за предпазване спрямо ЕМП на предлаганите продукти за населението;
- Да се обезкуражават измервания в домовете на гражданите;
- Да се изключат соматичните заболявания чрез физическо изследване;
- Няма корелация между тези симптоми и по-късни заболявания;
- Да не забравяме законите на физиката (електродинамика, оптика и др.);
- Възстановяването е възможно със сигурност, без да се взимат драстични мерки;
- Да се вземе предвид стресът, свързан с въвеждането на нови технологии;
- Необходимост от стратегии за справяне с проблема.

Информацията за лекарите включва следното:

- Информацията за лошо дефинирани симптоми и недиференцирани заболявания да се включи в следдипломното обучение на лекарите;
- Експертите да разработят международен протокол за лекари, който включва информация за диагнозата и лечението на пациентите;
- Националните държавни органи трябва да разработят персонализирана информация за общопрактикуващите лекари.

Съветите към държавната администрация включват следното:

Преди всичко тя трябва да включи в своите стратегии за комуникация проблема с пациентите с IEI. Трябва да се обърне внимание и върху следното:

- Пациентите имат реални симптоми, някои от които могат да са свързани с въздействието на ЕМП, но в настоящия момент няма доказателства за причинно-следствена връзка, поради което няма основа IEI да се включва в диагностичната класификация на болестите. Симптомите, обаче, могат да бъдат използвани за класификация;
- Няма индикация, че намаляването на интензитетите на ЕМП ще доведе до изчезване на симптомите, които лицата свързват с въздействието на ЕМП;
- Да се обезкуражават измерванията в домовете на гражданите;
- Разработване на подходящо взаимодействие с групи за самопомощ;
- Предвиждане на проблемите, свързани с въвеждане на нови технологии; да се осигурява балансирана информация; да се промотира диалог. Да се прилага различен подход като при нов фармацевтичен продукт – преди въвеждането му и след пускането му на пазара;
- Важната роля на създаването на регистър на оплакванията!

ЛИТЕРАТУРА:

1. Bergqvist U. et al. - Possible health implication of subjective symptoms and electromagnetic fields; A report prepared by a European group of experts for the European Commission, Stockholm, Sweden; 1997: National Institute for Working Life. (1997:19), http://ebib.arbetslivsinstitutet.se/ah/1997/ah1997_19.pdf.
2. Electromagnetic hypersensitivity, Proceedings, International workshop on EMF hypersensitivity, Editors K. Mild, M. Repacholi, E. van Deventer, P. Ravazzani, Prague, 2004.
3. Risk Perception, Risk Communication and its Application to EMF Exposure, Ed. R. Matthes, J. Bernhardt, M. Repacholi, Proc. Vienna, Austria, ICNIRP 5/98, 1997.

ГЛАВА 14

Риск. Оценка на риска. Възприятие, комуникация и управление на риска

Опасност и риск

Опитвайки се да разберем човешкото възприятие на риска, е важно да поставим граница между здравна опасност и здравен риск.

Опасност е ситуация или обект, които биха могли да увредят здравето на даден индивид.

Рискът е вероятността даден индивид да стане жертва на някаква опасност.

Шофирането на лека кола е *потенциална опасност за здравето*. Бързото каране на кола представлява риск. Колкото по-висока е скоростта, по-голям е рискът, свързан с шофирането.

Всяка дейност, независимо от естеството си, е свързана с някакъв риск. При пътуване с кола, самолет или влак, съществува опасност от катастрофа, но ако човек остане у дома, той няма да бъде защитен от земетресение. Животът най-общо е свързан с много рискове. Съгласно определенията на СЗО се счита, че „нулев“ риск не съществува.

Рискът се дефинира много често при оценка на въздействието на вредни фактори *в работната среда*. Как се оценява рискът? Като пример, тук ще представим един от методите, който се прилага за оценка на риска от въздействието на физически фактори, препоръчан от Международната организация по труда:

За извършване на *оценка на риска* се определя *категорията на риска – риск рейтинг (RR)*, както и съответните превантивни мерки, които следва да бъдат приоритетни при вземането на решение от страна на работодателя.

Категорията на риска (**RR**) се изчислява по следния начин:

$$RR = P \times S \times F,$$

където **P** е индексът на вероятност (вероятност за попадане на работника в среда с наличие на съответния въздействащ фактор), определен по скала (от 1 до 10); **S** е коефициентът на тежест (определян на основата на данните за заболяемост), а **F** е честотен коефициент (честота на експозиция), измерван също по скала. Така, най-голямата стойност на категорията на риска е $RR = 10 \times 10 \times 10 = 1000$. Въз основа на определения риск рейтинг, работодателят трябва да определи мерките за защита на работещите. За стойности на RR над 200 (за RR от 200 до 400), работодателят трябва да вземе мерки за елиминиране на риска в период до 1 година, докато при $RR > 800$ се изисква превантивните мерки да се вземат без отлагане във времето. При $RR < 200$ няма изискване за прилагане на превантивни мерки, но е необходимо да се извършва непрекъснат мониторинг на рисковия фактор и на възможния му ефект.

Отделно се определя *рисковият коефициент (RC)*, на основата на броя на подложениите на риск работещи лица.

Рискът за различните професионални групи и за населението може да бъде обсъждан само след установяването на т.нар. „*хигиенно значими стойности*“, които се приема да не са под 20% от възприетите гранични/прагови стойности (хигиенни или здравни норми).

Най-общо, обществото класифицира риска по следните степени: *незначителен, приемлив, поносим и неприемлив риск*. Населението често определя степента на риска и в зависимост от съотношението риск/полза.

Много фактори влияят на решението на човека да приеме или да отхвърли определен риск. Тези възприятия зависят от индивидуални фактори, външни фактори, както и от природата на риска.

Персоналните фактори включват възраст, пол, култура, образование, социален статус.

Има моменти, когато лицата могат да чувстват, че нямат контрол върху дадена ситуация. Това е особено вярно, когато става дума за въздействие с някои физически фактори, които „не се виждат“ или „не се чуват, усещат“ и т.н. Например при облъчване с електромагнитни лъчения, тъй като те са невидими, рискът не е лесно изчислим, а степента на облъчване е извън моментния контрол. Това е още по-лошо, когато хората не усещат директно ефекта от въздействието на фактора. В този контекст, отговорът на населението ще зависи от възприятието на този риск, който е основан допълнително и на:

Външни фактори, като налична научна информация; личната и обществената икономическа ситуация, движенията на мнения в обществото; структурата на регулаторния процес и политическите решения в обществото.

Природата на риска може също да води до различни възприятия. Колкото по-голям е броят на факторите, влияещи на общественото възприятие на риска, толкова по-голяма е вероятността за определен страх.

Изследванията са установили, че някои фактори, свързани с *известност на технологията, контрол на ситуацията, доброволно облъчване, страх от заболяване, пряка полза и справедливост*, действат на възприятието на риска.

Поемането на **осъзнатия риск** означава оспорване на факторите, свързани с персоналният риск. Обществеността смята, че има право да знае какво се предлага и планира по отношение на изграждане на съоръжения, свързани с емисия на различни вредни фактори на средата, които могат да повлияят на тяхното здраве. Те искат да имат известен контрол и да бъдат част от процеса на вземане на решение.

Обществеността е изключително чувствителна към **принудителна експозиция**. За майка с деца, която е принудена да живее в близост до базова станция за мобилна комуникация, рискът който тя поема, не е доброволен.

Направените анкети по отношение на въздействието на ЕМП в международен мащаб показват, че **възприятието на риска** е свързано със следните особености:

- **Наличие на случайна експозиция** (не намерена). При много източници на физически фактори това е най-честият случай на облъчване на населението. Като пример от анкетите на СЗО, могат да бъдат представени различията във възприятието на риска от лица, използващи мобилни телефони (възприятие за много малка степен на риск) спрямо тези, които не използват тази услуга („усещане“ за висок риск);
- **Слаба информираност за източниците на риска**. В случай, че населението не е информирано, че в близост до жилища, училища, зони за отдих и др. ще бъдат монтирани източници на електромагнитни лъчения, например електропроводи, трансформатори, подстанции, антени и др., то тенденцията е обществото да възприема риска от облъчването като висок;
- **Недостатъчна информация за технологичните процеси**, свързани с риска. Степента на риска се увеличава (като възприятие) от обществото, когато технологиите са нови или недостатъчно проучени. Същото се отнася и до непълните или недоказани научни данни за потенциалния здравен риск;
- **Страх от сериозни увреждания**. Някои съмнения за тежки заболявания могат да усилят страха в населението, както и възприятието за риска от въздействието (рак, хронични, инвалидизиращи заболявания, особено при децата и др.);
- **Неоправданост на риска**. Отнася се за случаи, когато населението не желае да бъде подлагано на риск от облъчване, понеже не ползва пряко източници на съответните фактори на средата, например мобилни телефони, микровълнови фурни, вентилационни или климатични инсталации и др. Такива лица не са мотивирани да приемат каквато и да е степен на риск.

Факторите, които влияят на възприятието на риска, са представени на фиг. 10.

Фиг. 10. Фактори, въздействащи върху възприятието на риска



Източник: *Establishing a Dialogue...*, WHO, 2002

Комуникация на риска, свързана с възприятието на обществеността

В наши дни, комуникацията с обществото по отношение на рисковете в околната среда, дължащи се на технологиите, играе важна роля. Според Националния съвет по изследванията на САЩ, комуникацията на риска е **“интерактивен процес за обмен на информация и мнения между индивиди, групи и институции”**. Следователно комуникацията на риска е не само представяне на научно пресмятане на риска, а и форум за дискусия върху по-широки проблеми от морално-етичен характер.

Модерната технология предлага мощно оръжие за стимулиране на цяла сфера от ползи за обществото, в допълнение към икономическото развитие. Освен това, технологичният прогрес, в най-широк смисъл, винаги се свързва с опасности и рискове, възприемани и реални. Промислените, търговските и битовите приложения на физическите фактори не правят изключение.

Около началото на 20-ти век хората са се тревожили за възможните здравни ефекти от електрическите крушки и от полетата, излъчвани от жиците и контактите, свързващи на-

земните телефонни системи. Не са се появили никакви неблагоприятни здравни ефекти и тези технологии постепенно са приети като част от нормалния начин на живот. Разбирането и приспособяването към новите въвеждани технологии зависи частично от това как новата технология се представя и как рисковете и ползите, свързани с нея, се интерпретират от едно, дори и предпазливо, население.

Историята показва, че липсата на познание относно здравните последици на технологичния напредък, може да не е единствената причина за социалната опозиция към иновациите. Игнорирането на различията във възприятието на риска, които не са отразени адекватно в комуникацията между учените, администрацията, организациите, промишлеността и населението, също може да доведе до сериозни проблеми.

Оценка и управление на риска

Учените оценяват здравния риск чрез претегляне и критична оценка на всички налични научни доказателства за развитие на солидна оценка на риска. Обществото може да представи своя оценка на риска чрез напълно различен процес, често не основан на количествена информация. Накрая, този възприет риск може да има така важно значение, както и измеряемия риск, при определянето на търговски инвестиции и политиката на държавата.

Основи на оценката на риска

Оценката на риска е организиран процес, прилаган за описване и оценяване на вредните здравни ефекти от въздействието на определен фактор на заобикалящата среда. Четирите стъпки в този процес са:

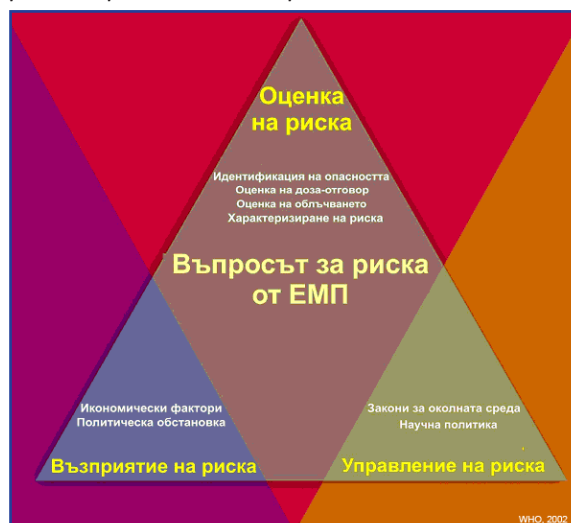
- 1. Идентификация на опасността:** идентификацията на потенциално опасен агент или ситуация на въздействие (на определена химическа субстанция или на източник на вредна физическа енергия);
- 2. Оценка на зависимостта “доза – отговор”:** оценката на връзката между дозата или въздействието на агента или ситуацията, и резултата и/или степента на доказан ефект;

3. Оценка на въздействието/експозицията: оценката на количеството на въздействието, включващо интензитета и времето, или на потенциалното въздействие при действителни ситуации;

4. Характеризиране на риска: синтез и обобщение на информацията относно потенциално опасна ситуация във форма, полезна и подходяща за органите, взимащи решения и заинтересованите страни.

Факторите, които формират възприятието на риска от отделните лица, включват основни социални и индивидуални ценности (като традиции, навици), както и натрупан опит от технологични проекти (като от язовири, електроцентрали). Тези фактори могат да обяснят локални интереси, възможни предубеждения, скрити планове или допускания. Грижливото внимание към социалните измерения на един проект позволява на вземащите решения и управляващите да разработят информационни решения, като част от пълни програми по **управление на риска**. В края на краищата, управлението на риска трябва да вземе под внимание и двете – измерения и възприемания риск, за да бъде то ефективно. На фиг. 11 е представен конкретен случай за оценка, интерпретиране и управление на риска от фактора електромагнитно поле.

Фиг. 11. Оценка, интерпретиране и регулиране на рисковете, свързани с ЕМП



Източник: *Establishing a Dialogue...*, WHO, 2002

Как се стига до разработването на действаща **програма за управление на риска**, който е крайният и най-важен етап, следващ оценката на риска?

*Идентификацията на проблемите и научно обоснованата оценка на риска са ключови стъпки за дефиниране на успешна програма за управление на риска. За да се отговори на тази оценка, такава програма трябва да обединява действия и стратегии, като откриване на възможностите, взимането на решения, изпълнението на тези решения, и оценяването на ефективността на процеса. Тези компоненти не са нито независими, нито се случват в определен ред. По-скоро, всеки елемент се предизвиква от неотложността и необходимостта за вземане на решение, както и от наличието на информация и ресурси. Докато съществува ред от възможности за управление на риска, ударението е поставено на втория пункт, наречен **комуникационни програми**.*

Обхват на възможностите за управление на риска

Решение да се предприеме неформално действие е подходящ отговор в случаи, където рискът се счита за незначителен, или доказателствата са недостатъчни за поддържане на формални действия. Този отговор обикновено е свързан с бдително изчакване, т.е. проследяване на научните резултати и тези от измерванията, а решенията могат да бъдат взети от специалистите, които разработват и въвеждат нови стандарти, указания и др.

Комуникационни програми могат да бъдат използвани с цел да помогнат на хората да разбират въпросите, да бъдат включени в процеса за взимане на решение и да направят свой избор за това какво да се прави за намаляване на риска.

Научните изследвания запълват „дупки“ („бели петна“) в нашето познание, помагат за идентифициране на проблемите и позволяват да се достигне по-добра оценка на риска. Те подпомагат процесите за вземане на решение и в бъдеще.

Предупредителните подходи са стратегии и действия, които единични лица, организации или държавата предприема за минимизиране или избягване на бъдещи здравни проблеми или такива на околната среда. Често те се прилагат и в случаи, когато няма достатъчно научни доказателства за вредните ефекти от въздействието на фактора.

Нормативните документи са официални стъпки, които предприема държавата за ограничаване на злоупотребите и на условията за възникване на потенциални рискови събития.

Ограничаване на въздействието или спира-не използването на източника на въздействие - това са възможности, които могат да бъдат използвани, когато степента на вероятност за увреждане е висока. Степента на вероятност и силата на увреждането са два важни фактора при решаване на това, какъв тип действия да бъдат взети.

Техническите възможности могат да бъдат прилагани за намаляване на риска. Те могат да включват вграждане в земята на електропроводи; увеличаване на броя на базовите станции за мобилна комуникация, с цел намаляване на излъчваните мощности, стратегически решения за намаляване на шума от транспорта, поддръждане на вятърните генератори в ред, който не позволява проявата на визуални проблеми за шофьорите по близкостоящите пътища и т.н.

Намаляването/отслабването (на въздействието) включва извършването на физически промени в системата за намаляване на въздействието и, респективно, на риска. Намаляването може да означава реконструкция на системата, инсталиране на екрани или включването на защитни съоръжения.

Компенсацията понякога се предлага в отговор на по-високи експозиции в работната или околната среда. Хората може би имат желание да възприемат някаква цена в замяна на приемането на по-високото облъчване.

Необходимост от комуникация на риска

В наши дни, комуникацията с обществото по отношение на рисковете от околната среда,

дължащи се на технологиите, играе важна роля. Следователно комуникацията на риска е не само представяне на научно пресметнатата стойност на риска, а и форум за дискусия върху по-широки проблеми от морално-етичен характер.

Въпросите на околната среда, които включват неопределеностите по отношение на здравните рискове, изискват всестранно приемливи решения. За тази цел, учените трябва да комуникират с помощта на *научнообосновани доказателства*; държавните организации трябва да информират хората за нормите за безопасност и за *законодателните мерки*; *заинтересованите* граждани трябва да решат сами до каква степен желаят да приемат такъв риск. В този процес е важно комуникацията между заинтересованите страни да бъде ясна и ефективна.

Пример за това как една сериозна международна организация – IARC (Международната агенция по изследване на рака) прилага този подход за оценка на неопределеността, е класификацията на канцерогените (химични субстанции, физически фактори и др.) за човека:

- Клас 1 – „доказан“ канцероген;
- Клас 2a – „вероятен“ канцероген;
- Клас 2b – „възможен“ канцероген;
- Клас 3 – не може да бъде класифициран (няма достатъчно доказателства за неговата класификация като канцероген);
- Клас 4 – не е канцероген.

В тази класификация физическите фактори се включват много оскъдно:

- УВ-лъчението е канцероген от **клас 1 – доказан канцероген**;
- магнитните полета от СНЧ обхват (от 1 до 300 Hz) са определени през последното десетилетие като канцероген от **клас 2b – „възможен“ канцероген**, на основата на епидемиологични проучвания, показващи по-високия процент на случаи от някои видове рак сред населението, експонирано на магнитно поле с плътност на магнитния поток над 0,3 μ T, особено отнасящо се до левкемии при децата;

- радиочестотните ЕМП, излъчвани от мобилните телефони, също бяха класифицирани от International Agency 894 for Research on Cancer (IARC) през 2011 г. като „възможен“ канцероген – клас 2б, въпреки малкото позитивни резултати, доказващи подобен ефект. Дори има сериозни съмнения върху качеството на научните изследвания, които са довели до тези позитивни резултати за подобна причинно-следствена връзка между излъчваното ЕМП и съответните видове рак.

Най-общо, научните методи разделят „установените“ (доказаните) от „несигурните“ (неопределените) ефекти и се препоръчват действия само за тези, за които няма достатъчно доказателства (за последните). Когато се установи риск, при който има тенденция за „лъжливи“ негативни резултати (т.е. такива, които казват, че рискът не съществува, а всъщност такъв има), се изисква високо ниво за значимост на доказателствата.

В контраст с науката, населението и обществото като цяло, по-често е склонно да приеме лъжливите позитивни резултати (т.е., че рискът съществува, докато в действителност такъв няма). Причината за това е, че хората не искат да пренебрегват какъвто и да е потенциален риск.

Какво представлява управлението на риска?

Една проста дефиниция за това е следната: *Това е процес, чрез който резултатите от оценката на риска се интегрират с друга информация – политическа, икономическа, социална и техническа, за да се стигне до решения за нуждите и начините за намаляване на риска.*

Нека разгледаме етапите на оценката и управлението на риска на работното място:

Научна база (входяща информация):

- Наблюдения и експериментални изследвания;
- Методология за изследване (прилагани методи);

- Производствени изследвания (в работна среда).

Оценка на риска

- Идентифициране на риска;
- Оценка „доза – отговор“;
- Оценка на експозицията;
- Характеризиране на риска.

Управление на риска

- Развиване на стратегия за избор на различни възможности.
- Оценка на реалните здравни, икономически, социални и политически възможности.
- Вземане на решения и предприемане на действия.

При изработване на **политиката за управление на риска** е необходимо:

- Да се установят приоритетите;
- Да се определи възможната за момента цел;
- Да се избере най-подходящата технология;
- Да се направи сметка за необходимите разходи и очаквания от тях ефект;
- Да се състави конкретен план за действие.

От представените 3 етапа – научна база, оценка на риска и управление на риска, първите два етапа са обект на приложната наука, а третият включва процесите на вземане на решения и действия, които принадлежат на социално-техническата сфера.

Управляване на проблем, чувствителен към времето

Проблемите на общественото здраве и проблемите „здраве-околна среда“ имат динамичен живот, т.е. те еволюират с времето. **Жизненият цикъл на един проблем** илюстрира как социалният натиск върху вземащите решения се развива във времето (Фиг. 12).

Фиг. 12. Жизнен цикъл на оценката на риска



Източник:
Establishing a Dialogue...,
WHO, 2002

J. Larkin, Proc. Int. Seminar
EMF Risk Perception and
Communication,
WHO, 1999

През ранните етапи на жизнения цикъл, когато проблемът е в зародиш или току-що възникващ, общественият натиск е минимален. Докато проблемът все още не е в дневния ред на науката, все още учените и администрацията имат свободно време да изследват и *анализират* потенциалните рискове.

Щом проблемът “избухне” в общественото съзнание, често изведен напред чрез отключващо събитие (например вниманието на медиите, организирана интервенция от активисти, интернет, изпусната дума), важно е да се предприемат *действия* под формата на комуникация с обществото.

Когато проблемът достигне критичен размер (криза), трябва да се вземе решение, но едно прибързано действие може да остави недоволни всички страни.

Когато проблемът започне да намалява по важност в приоритетите на обществото, трябва да се отдели време за оценка на проблема и на взетите решения.

Преходът между различните фази в жизнения цикъл на един проблем зависи от нивата на загриженост и натиск от различните заинтересовани страни (Фиг. 12.). Колкото по-рано се представи балансирана информация на обществеността, толкова повече ще може да се

предотврати достигането до кризисен етап на проблема. Много по-лесно е да се помогне на хората да сформират мнение, отколкото да се променят вече изградените такива. При веднъж възникнала криза е извънредно трудно да се провежда ефективна комуникация на риска и да се достигне до успешен изход от процеса на вземане на решение, тъй като има по-малко време за осмисляне на възможностите и ангажиране на заинтересованите страни в диалога. Поради това, че по дискутираните въпроси могат да възникнат противоречия, които са най-критични в периоди на избори и други политически събития, е препоръчително да се подготвят стратегии и да се разработят алтернативни решения, готови за действие.

Движещи сили на жизнения цикъл

- Липсата на доверие
- Възприемането на “злодея” в дадения проблем (например, индустрията)
- Дезинформация
- Вярата, че мнозинството се отнася “несправедливо” към малцинството
- Изнасяне на неясна или недоказана информация в медиите
- Намеса на групи активисти и други силно мотивирани групи по интереси
- Емоционална динамика в обществото

Адаптиране към динамичен процес

През целия жизнен цикъл на проблема, комуникационната стратегия трябва да бъде насочена към потребностите на най-засегнатите групи от хора, и за да бъде тя ефективна, трябва да приема разнообразни форми.

Методите за комуникация и действията трябва да бъдат подходящо модифицирани при получаване на нова информация. Навременното публикуване на научни резултати дава една възможност за повлияване на жизнения цикъл на риска.

Докато международните научни организации трябва да отговарят обективно и своевременно за резултатите от научните изследвания, то вземащите решения трябва да убедят заинтересованите страни, че техните потребности се приемат сериозно чрез прилагане на подобни стратегии.

Действително, наблюдението на риска е ключов компонент за осигуряване на подходящо управление на риска, така както постоянното информиране е съществено както за мониторинга, така и за осигуряването на обратна връзка в процеса на управление на риска.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Установяване на диалог за риска от електромагнитни полета, СЗО, Женева, изд. „Фондация „Фарадей“, 2006.
2. Electromagnetic Fields, WHO, Local Authorities, Health and Environment, 1998
3. Establishing a dialogue on risks from electromagnetic fields, WHO, Geneva, 2002.
4. Israel, M., V.Zaryabova, National System for Training in Risk Perception and Risk Communication on EMF Exposure, Journal of environmental protection and ecology, 01/2005; 6(2):322-327.
5. J. Larkin – Evaluating response options., Proceedings of International Seminar on EMF Risk Perception and Communication, WHO, 1999
6. Risk Perception, Risk Communication and its Application to EMF Exposure, Ed. R. Matthes, J. Bernhardt, M. Repacholi, Proc. Vienna, Austria, ICNIRP 5/98, 1997.
7. Stranks JW – The Handbook of Health and Safety Practice, ed. PITMAN, 2002, p. 153-159.

РАЗДЕЛ 1

Постоянни полета. Приложение. Специфични и неспецифични ефекти от въздействието им. Максимално допустими стойности. Способи за намаляване на интензитетите на електростатичното поле и на плътността на магнитния поток

Постоянните електрическо (електростатично поле – ЕСП) и магнитно (постоянно магнитно поле – ПМП) поле се изучават от електростатиката и магнитостатиката, които са частни случаи на уравнения на Максвел за класическата електродинамика. Обикновено, в нормативните документи за постоянни полета се говори за бавно изменящи се електрически и магнитни полета, т.е. с честота от 0 Hz до 1 Hz.

Нека започнем с **електростатичното поле (ЕСП)**. Това е универсален фактор на средата, който съществува в земната атмосфера и се създава от наелектризирания йонен слой (йоносферата), с посока на вектора на полето към земната повърхност. **Йоносферата** се простира на височина над 80 km и достига до около 800 km, при това постепенно преминава в междузвездното пространство.

В йоносферата има голям брой електрически заредени частици - електрони и йони. Те възникват чрез йонизацията на неутрални молекули въздух, причинена на първо място от слънчевото облъчване (УВ и корпускулярно излъчване). Космическите лъчения и метеорните потоци също участвуват в йонизацията. За

едно денонощие в земната атмосфера изгарят няколко десетки милиарда метеорни частици.

Лъчението в горните слоеве на атмосферата притежава достатъчно енергия, за да избие един електрон от атомната обвивка на молекулата на всеки намиращ се там газ. Атомното ядро, на което по този начин е бил отнет един електрон, заедно с останалите електрони, представлява положително зареден йон. Свободният електрон попада или на неутрален атом (или неутрална молекула), като образува отрицателен йон, или се присъединява към някой положителен йон, при което се създава неутрален атом. Този обратен процес се нарича *рекомбинация*. Броят на свободните електрони в единица обем зависи от интензивността на лъчението. Поради наличието на електрически заредени частици (йоните) горната част на атмосферата представлява електрически проводник, който има свойството да отразява електромагнитните вълни от определени честотни обхвати.

Степента на йонизацията се променя непрекъснато в зависимост от годишното време и часа на денонощието, от цикличната промяна на слънчевата активност, от географската ширина и по други причини.

Стойностите на ЕСП в близост до повърхността на земята са 150 V/m, като те се променят в зависимост от причини, описани по-горе.

Изкуствените източници на ЕСП в бита са най-често подовите покрития или синтетични повърхности на маси, мебелировка, дрехи и т.н.

В много производства се проявяват и технологичните вредности на ЕСП: в текстилната промишленост, при производство на каучукови изделия, полиетиленови фолия, пластини и изделия, в хартиената и полиграфическата промишленост, в мебелната индустрия, при преработване и транспорт на гранулирани материали и прахове и др. Съвременните работни места, свързани с наличие на високи стойности на ЕСП, са офисите в администрацията и фирмите, където почти всички материали, повърхности, подове, са синтетични и на повърхността им се натрупват електрически заряди. Наличието на копирни машини и скенери, както и ниската относителна влажност на въз-

духа в подобни помещения, води до сериозни нива на ЕСП.

Вредното действие на това поле върху човека се изследва от много време, но не са установени достатъчно сигурни критерии за определяне на праговете на неблагоприятния му ефект върху здравето. Счита се, че някои кожни алергични реакции при операторите на видеодисплеи се дължат на въздействието на ЕСП. Основната вредност, свързана с образуването на електростатични заряди в работна среда с леснозапалими течности и материали, е възпламеняващата му способност, т.е. вероятността от възникване на пожари и взривове.

Поради това, критериите за нормиране на ЕСП рядко са свързани с някакви здравни ефекти, а в повечето страни те са възможната опасност на работното място от взрив или пожар, предизвикани от голямата концентрация на електрически заряди („норми за безопасност“).

Основният параметър, който се измерва при оценка на ЕСП на работното място, е интензитетът на електрическото поле E , V/m. При оценката на ЕСП в работното помещение, особено важен параметър е влажността на въздуха.

Съгласно Наредба № РД-07-5, ДВ, бр. 95 от 2015 г., максимално допустимата стойност на електрическо поле с честоти от 1 до 25 Hz е $E = 20$ kV/m. За честоти под 1 Hz в настоящия момент няма въведени гранични стойности в международен мащаб.

Постоянното магнитно поле също е универсален фактор на средата, както споменахме по-горе.

Магнитното поле на Земята е свързано исторически с ползването на компаса като средство за ориентиране. Той вероятно е възникнал в Китай през XI век и в продължение на няколко столетия се е използвал като главен навигационен прибор, макар че в действителност никой не е разбирал принципа му на действие. Защо единият край на стрелката винаги сочи север? Повечето мъдреци са обяснявали поведението на стрелката с действието на извънземни сили, например привличането на края на стрелката от Полярната звезда. Някои дори са предполагали, че в стрелката на компаса има затворен дух,

който в стремежа си да достигне полюса, насочва стрелката на компаса.

През 1600 г. на бял свят излиза блестящият труд на Уилям Хилберт под названието „За магнита, магнитните тела и големия магнит на Земята“. Строгий научен подход позволил на учения по-задълбочено да разбере същността на магнитните явления. Получавайки кълбо от къс магнитна руда, Хилберт подробно изследвал ориентацията на магнитна стрелка, окачена над различни негови части и наблюдавал пълно сходство с ориентацията на магнитната стрелка в различни части на Земята. Оттук той направил извода, че действието на компаса може прекрасно да се обясни, ако се предположи, че самата Земя представлява постоянен магнит, оста на който е насочена по продължение на земната ос.

От този момент изучаването на геомагнетизма преминава на ново равнище. По-подробното изследване показало, че магнитната стрелка се насочва не точно в направление север-юг. Отклонението на направлението на стрелката от меридиана, прекаран през дадена точка, се нарича *магнитно отклонение*. Магнитните полюси са отместени по отношение на оста на въртене на Земята с $11,5^\circ$. Стрелката не се намира точно в хоризонтална равнина, а се завърта спрямо хоризонта под някакъв ъгъл, наречен *ъгъл на магнитно накланяне*. Изследвайки магнитното накланяне в различни точки, може да се направи изводът, че магнитният „дипол“ се намира в дълбините на Земята. Той създава нееднородно поле, което на магнитните полюси достига големина $0,6 \cdot 10^{-4} \text{ T}$, а на екватора то е около $0,3 \cdot 10^{-4} \text{ T}$.

Магнитният „дипол“ се намира в ядрото на Земята, което се състои от разтопено желязо. Желязото, дори в разтопено състояние, остава добър проводник на електричество и за обясняване магнитното поле на Земята може да се предложи моделът на своеобразното „магнитно динамо“. Няма да описваме този модел, въпреки че той не е единствен за описанието на възникването и поддържането на магнитното поле на Земята. Ще се ограничим да споменем само, че „земни-

ят магнит“ създава токове, протичащи във вътрешността на разтопеното желязо.

Магнитното поле на земята се променя. Магнитните полюси се движат със скорост 5-6 километра на година. За мащабите на цялата Земя това е нищожно преместване. Явлението лесно може да бъде забелязано в рамките на едно столетие, затова то е получило названието *векова вариация на магнитното поле*.

Досега говорихме само за вътрешноземния произход на магнетизма и това действително е неговият основен източник. Обаче, някои изменения на магнитното поле се причиняват от заредени частици, прилитащи отвън. В основата си това са токове от протони и електрони, излъчвани от Слънцето. Заредените частици се насочват към полето на полюсите, където се въртят по окръжности под действието на *лоренцовата сила*. Това предизвиква две явления. На първо място, движещите се заредени частици създават допълнително магнитно поле - *магнитни бури*. На второ място, при движението си те йонизират молекулите на атмосферните газове - възниква *полярно сияние*. Силни магнитни бури възникват периодично (през 11,5 години). Този период съвпада с периода на интензивност на събития, протичащи на Слънцето.

Непосредствените измервания с помощта на космически апарати са показали че най-близките до Земята тела - Луната, планетата Венера и Марс нямат собствено магнитно поле, подобно на земното. От другите планети в слънчевата система само Юпитер и, както изглежда, Сатурн притежават собствени магнитни полета. На Юпитер е открито поле до 10 Гауса (1 mT) и редица характерни явления (магнитни бури, синхротронно радиоизлъчване и др.).

Изкуствените източници на магнитно поле се срещат в различни технологии, съоръжения, производства и уреди. Такива са, например, източниците в производствата на феромагнитни материали, мощните електромагнити, използвани за целите на флотацията на руди или при товарене на метални контейнери на доковете на пристанищата. Някои съвремен-

ни технологии също са свързани с емисия на постоянно магнитно поле, като такива в звукозаписните студия, при производство и обработка на дискове CD и DVD. Една от най-новите медицински професии, свързани с образна диагностика, е тази, при която се обслужват съоръжения с ядрено-магнитен резонанс (ЯМР).

Не на последно място обикновеният човек се среща с предлаганите масово магнитни материали, които са „панацея“ за всички видове болести – магнитни одеяла, наколенки, гривни, обици и т.н.

Основните параметри, които са свързани с вредното действие на ПМП върху човека, са:

- магнитна индукция B на ПМП. Измерва се в Т (Tesla) или в Gs (Gauss), като $1\text{ T} = 10\,000\text{ Gs}$;
- нехомогенност dB/dx на магнитното поле. Измерва се в T/m;
- промени на ПМП с времето dB/dt . Измерва се в T/s.

Основният критерий, на основата на който са разработени хигиенните нормативи за ПМП в световен мащаб, е възможността индуцираните кръгови токове в биологичните тъкани да доведат до директно въздействие върху възбудими структури. Вземат се предвид и някои доказани биологични ефекти върху зрението, ЦНС, както и върху нехомогенни по отношение на магнитното поле структури в организма. Основен критерий е и въздействието на ПМП върху кардиостимулатори и други метални импланти в човека.

Международната комисия по защита от нейонизиращи лъчения (ICNIRP) през 2009 г. публикува препоръки за защита от постоянни полета, като за ПМП се предлагат следните гранични стойности на експозиция: [ICNIRP Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics 96(4):504-514; 2009].

Съгласно Наредба № РД-07-5, ДВ, бр. 95 от 2015 г., граничната стойност на експозиция (ГСЕ) на ПМП с честоти от 0 до 1 Hz се отнасят до ефектите върху здравето и ефектите на чувствителност при работника, както и до други физиологични ефекти, свързани с наруше-

ния на вестибуларния апарат на човека, които произтичат основно от движението на работещия в постоянно магнитно поле. За нормални условия на работа, ГСЕ е $B = 2\text{ T}$, докато при контролирани условия на работа и при локална експозиция върху крайниците, ГСЕ е $B = 8\text{ T}$.

Отделно, в Наредбата са въведени стойности за предприемане на действие (СПД), които са свързани със смущения на активно имплантирани медицински изделия, като кардиостимулатори – $B = 0,5\text{ T}$, както и за възможен риск от привличане и отблъскване на метални предмети в близкото поле до източници на ПМП – $B = 3\text{ mT}$.

В последно време се обръща внимание на специфичното биологично действие на някои характеристики на ПМП, като „нехомогенност“ на полето, „интермитентност“ (промени с времето). Оказва се, човекът има развити много големи възможности за адаптация към ПМП, но се влияе много силно от малки промени на земното магнитно поле (магнитни бури, например). До голяма степен нехомогенността на ПМП и вредното ѝ въздействие се свързва и с неблагоприятия в жилищното строителство.

Методи и средства за измерване на постоянните полета

Тук няма да се задълбочаваме в методите за измерване, освен че ще представим някои общи насоки в това направление.

За измерване на интензитетите на ЕСП се използват методи, свързани с натрупване на заряди в кондензатори със специална форма и размер, за целите на измерване в работната среда и в жилищни помещения. Измерванията се извършват на 1 cm от повърхността с натрупани електрически заряди. Много често се прилагат и въртящи се датчици, които се опират до повърхността, като при това се измерва протичащия ток през веригата на измервателния уред.

Измерването на плътността на магнитния поток се извършва с уред с датчик на Хол, който дава възможност за разработване на измервателни системи с голям динамичен обхват на измерване на ПМП.

У нас рядко се извършват измервания на ЕСП. Стойностите на ПМП се контролират от единични органи за контрол и лаборатории, основно свързано с приложението на ЯМР в медицината.

Методи за намаляване на въздействието на постоянните полета

Основен метод за намаляване натрупването на електрически заряди върху повърхностите в работната среда е увеличаването на относителната влажност на въздуха чрез различни способи: поставяне на влажни материали върху нагreti повърхности, прилагането на водни прегради и чрез пара, климатизация на въздуха.

Намаляването на стойностите на ПМП може да стане само чрез екрани, които затварят силовите линии на магнитното поле в работното пространство. Поради сложността на подобни съоръжения, въздействието се намалява чрез прилагане на други методи, като обучение на персонала, ограничаване на достъпа до определени части от помещението, премахване на всякакви излишни метални предмети от работната среда и от работника, специално отношение към лица с кардиостимулатори и други активни и/или метални импланти.

Извършва се предварителен и периодичен медицински контрол на работещите в условия на ПМП.

РАЗДЕЛ 2

Свърхнискокочестотни електрически и магнитни полета. Методи и средства за измерване в близка зона. Индуцирани токове в организма. Вредни ефекти от въздействието им. Канцерогенен ефект. Максимално допустими стойности. Някои механизми на нискоинтензивни въздействия

Свърхнискокочестотните (СНЧ) електрически и магнитни полета се срещат рядко в природата. По-значими стойности, които могат да имат хигиенно значение, могат да се открият при определени метеорологични условия, свързани с бурни циклони и електрически изпразвания от заредени облачни масиви.

Това, обаче, е честотният обхват, в който интензитетите на електрическото и магнитното поле надвишават естествения фон в населените места повече от 10^8 (сто милиона) пъти в последните 100 и повече години, от времето на откриването на приложенията на електрическия ток.

Причината за това основно са системите за производство и разпространение на електроенергия. Тук източниците на поле са преди всичко различните съоръжения и системи за генериране на електрически ток, като топлоелектрическите централи (ТЕЦ), атомноелектроенергичните централи (АЕЦ), водноелектроенергичните централи (ВЕЦ), както и съвременните

ЛИТЕРАТУРА:

1. Наредба № РД-07-5 за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на електромагнитни полета, ДВ, бр. 95 от 29.XI.2015 г.
2. Environmental Health Criteria – EHC 232: Static fields, WHO, Geneva, 2006.
3. Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0-100 kHz), ICNIRP 13/2003, pp. 500.
4. ICNIRP Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, Health Physics 96(4):504-514; 2009.

технологични системи като тези, използващи вятъра (вятърни централи), светлината (фото-волтаични централи).

Други източници на електрическо и магнитно поле са подстанциите и разпределителните устройства, така наречените открити разпределителни устройства (ОРУ) за високо напрежение (ВН) 110, 220 и 400 kV, закрити разпределителни устройства (ЗРУ) за средни напрежения (СН) – 1,5 kV, 6, 10 и 20 kV, електропроводите за високо и средно напрежение.

Едни от най-масовите източници на СНЧ полета са електрическите мрежи и инсталации в домовете на населението (включително трафопостовите в жилищните сгради), както и огромният брой битови електрически уреди, като перални, хладилници, прахосмукачки, миялни машини, и не по-малко сешоари, епилатори и т.н. Не трябва да забравяме, че и телевизионните приемници, видеодисплеите също излъчват електрически и магнитни полета от същия обхват.

В обхвата на СНЧ полета има и съоръжения в металургията, които се използват за индукционно нагриване (топене) на метали. Те са индукционни пещи и генератори, излъчващи в диапазона от 1 kHz до 10 kHz, като мощностите на излъчване варират в широки граници – от 100 до 500 kW.

В медицината, по-специално във физиотерапията, импулсните магнити излъчват поле в обхвата от 50 Hz до 1 kHz, което включва и СНЧ обхват.

Съоръженията за образна диагностика, прилагащи метода на ЯМР, също излъчват освен ПМП, също и нискочестотни полета.

Както беше описано в Глава 10, основните параметри, свързани с оценката на въздействието на СНЧ полета, са:

- интензитет на електрическото поле E [V/m];
- магнитна индукция B [T] или [Gs];
- плътност на електрическия ток в биологичната тъкан j [A/m²];
- индуциран ел. ток в човека;
- ток на заземяване на човека.

Допълнително, при оценката на риска, трябва

ва да се имат предвид и следните фактори: работната поза (при въздействие на електрическото поле - ЕП), експозицията, здравното състояние на човека (психично здраве, нервно-сензорно напрежение, приети лекарства, индивидуална чувствителност), както и наличието на активни импланти, като например кардиостимулатори.

Важни характеристики при взаимодействието на нискочестотните ЕМП с биологичните тъкани са електрическите и магнитните характеристики на самите тъкани: диелектрична проникваемост, магнитна проникваемост, специфична проводимост, дълбочина на проникване и др. Ефектите от въздействието зависят и от разположението на тялото на човека спрямо силовите линии на двете компоненти на полето – електрическата и магнитната.

Основните рискове от въздействие на СНЧ електрическо (ЕП) и магнитно (МП) поле са изследвани главно за честоти 50/60 Hz. Установено е, че индуцираният електрически ток е право пропорционален на честотата на въздействащото поле, при честоти почти до 100 kHz (т.е. включващо нискочестотния обхват). При това повечето от параметрите на риска се определят на базата на установените такива за 50/60 Hz, приведени към съответната честота по линейна зависимост („просто тройно правило“), поради това, че индуцираният ток в биологичната тъкан зависи право пропорционално от честотата. Затова, когато говорим за въздействие на СНЧ полета върху човека, същите правила и механизми важат до 100 kHz, т.е. в нискочестотния (НЧ) обхват.

Човекът се намира в косвен или пряк контакт с НЧ полета при следните случаи (рискови ситуации):

- а) **под действие на ЕП** (например от електропроводи с високо напрежение) в човека **се индуцират ел. заряди** (оттам - **ел. полета и токове**), които силно зависят от формата (работната поза), разположението на тялото спрямо силовите линии на полето, наличието на околни отразяващи или проводящи повърхности;
- б) **под действие на МП** (например на работни места при индукционни пещи) в орга-

низма се влияе директно на движещите се заряди, като **се индуцират също и ел. полета и кръгови ел. токове**;

- в) **ЕП индуцира високи напрежения в масивни метални предмети** (например коли), при допир до които през човека протичат силни ел. токове, зависещи от електрическите характеристики на заземяване;
- г) **МП индуцира ел. токове в затворени вериги** (например метални огради), при допир до които през човека също протичат силни ел. токове;
- д) **при голяма нехомогенност** на СНЧ поле е възможно възникването на т. нар. „**стъпков потенциал**“, който води до протичане на ел. токове през части от тялото;
- е) **в нехомогенно СНЧ поле** може да протече силен **ел. ток между двама души** при допир.

Първите два механизма на „куплиране“ се отнасят до индиректното въздействие на ЕП и МП върху човека (индукция), докато следващите четири са свързани с протичане на силни токове за кратки периоди от време, като те са неприятни, често опасни за живота и здравето на човека.

Електрическото поле предизвиква неприятни ефекти на усещане, като например:

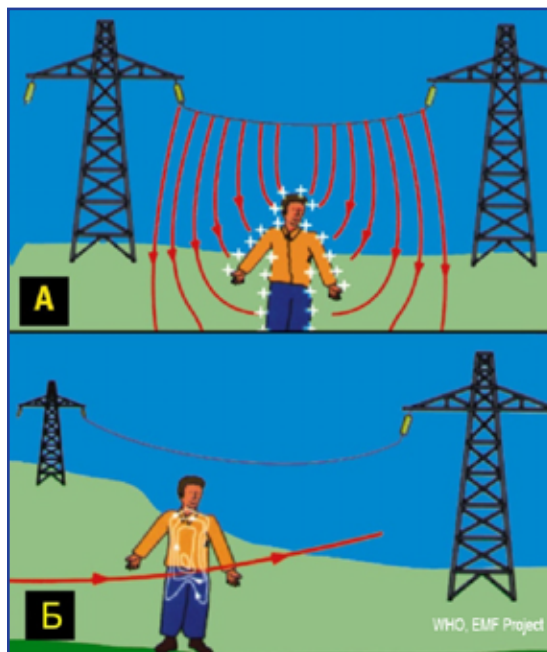
- При интензитет 10-12 kV/m – болково усещане при допир до метален предмет; същото усещане при деца се постига при интензитети 8-10 kV/m;
- При интензитет 4-5 kV/m – усещане при допир на възрастни до метални повърхности; същото усещане при деца се достига при интензитети 2-2,5 kV/m.

В човека нормално съществуват много слаби електрически токове, които са важна част за нормалното функциониране на организма. Всички неврони подават сигналите си чрез предаване на електрически импулси. Повечето биохимични реакции, една част от които свързани с усвояването на веществата, а друга – с мозъчната активност, се осъществяват чрез трансфер на заредени частици или молекули. Влиянието на **външното** ЕМП върху човека и

съставлящите го клетки зависи главно от **честотата** и **силата (интензитета)** на ЕМП. При ниски честоти, ЕМП преминават през човешкото тяло, без значително отслабване.

Нискочестотните електрически полета действуват на разпределението на електрическите заряди на повърхността на проводящи тъкани и предизвикват токове, протичащи през тялото към земята. (Фиг. 13А). *Нискочестотните магнитни полета* индуцират кръгови токове в човешкото тяло (Фиг. 13В). Силата на тези индуцирани токове зависи от интензитета на външното магнитно поле и размера на кръга, през който протича електрическият ток. При достатъчно големи интензитети на магнитното поле, тези токове могат да предизвикат стимулация на нерви и мускули или да въздействат върху други биологични процеси.

Фиг. 13. Схематично представяне на индуцираните токове в човека от магнитното (А) и електрическото (Б) поле



Източник:
Google images – electric and magnetic fields

Биологични и здравни ефекти

Биологичните ефекти са измерими отговори (реакции) на организми или на клетки към определен стимул или промяна в околната среда. Такива реакции, като например нарастването на сърдечната честота след пиене на кафе или сънливост при престой в задушна стая, не е задължително да бъдат опасни за здравето. Реакцията на промените в околната среда е нормална част от живота. В някои случаи организмът може да няма възможност за адекватни компенсаторни механизми за смекчаване на всички промени в околната среда или на стреса и тогава биологичните ефекти преминават в неблагоприятни здравни ефекти.

Неблагоприятният **здравен ефект** е резултат от биологичен ефект, който предизвиква забележими разстройства на здравето или благополучието на облъчените лица. Съответствието с граничните стойности, препоръчани от национални и международни ръководства, позволява да се контролира рискът от облъчване с ЕМП, които могат да бъдат вредни за човешкото здраве. При това е ясно, че вредният ефект е свързан с въздействие на някакъв фактор със стойност (доза) над определен праг. В настоящето дискусията се фокусира и към това дали продължителното (хронично), нискоинтензивно облъчване под граничните стойности може да предизвика неблагоприятен ефект върху здравето или върху благополучието на населението.

Заклучения от научните резултати

Научните данни за здравните ефекти на ниско-честотните ЕМП се основават на голям брой епидемиологични изследвания върху животни и доброволци, и *in vitro* изследвания. Много здравни последици от репродуктивни дефекти до сърдечносъдови и нервно-дегенеративни заболявания са изследвани, но най-убедителните доказателства от епидемиологични изследвания до момента се отнасят до левкемия при децата. През 2001 г., експертна научна група на Международната агенция за изследване на рака (IARC) към СЗО прави преглед на изследванията, отнасящи се до канцерогенността на *постоянните и*

свърхниско-честотните (СНЧ) електрически и магнитни полета. Прилагайки стандартната класификация на IARC, която преценява доказателствата по отношение на човека, животните и лабораторните изследвания, **СНЧ магнитни полета** са класифицирани като **възможен канцероген за човека**, основано на епидемиологичните проучвания за левкемии при децата. Пример за добре известен агент, класифициран в същата категория, е кафето, чиято употреба може да повиши риска от рак на бъбреците, докато междувременно то да бъде с протективно действие срещу рак на червата. „Възможен канцероген за човека“ е класификация, използвана за означаване на агент, за който *съществуват ограничени доказателства за канцерогенност за човека и по-малко значими доказателства за канцерогенност при експериментални животни*.

Максимално допустими стойности

За промишлената честота (50 Hz) са приети следните критерии за хигиенното нормиране в световен мащаб, на основата на индуциране на токове в организма:

Установено е, че при плътност на индуцирания ел. ток $j = 1 - 10 \text{ mA/m}^2$, биологичните ефекти са почти неразличими. Ясно изразени ефекти, особено върху ЦНС, зрението и др., се установяват при $j = 10 - 100 \text{ mA/m}^2$. При $j = 100 - 1000 \text{ A/m}^2$ се наблюдава стимулация на възбудими структури, което е вече основа за определяне на прагове на въздействие. Над 1000 mA/m^2 са възможни екстрасистолите, дори камерна фибрилация, което представлява риск за живота на човека.

Като праг за оценка на неблагоприятния ефект се приема стойност $j = 10 \text{ mA/m}^2$ за облъчване на хора в околната среда.

Хигиенните норми за ниски честоти включват два вида максимално допустими нива: основни ограничения, наречени **„гранични стойности на експозиция“** и референтни нива – **„стойности за предприемане на действие“**. Същите са дефинирани в Наредба № РД-07-5 от 15 ноември 2016 г., ДВ, бр. 95 от 2016 г., която въвежда европейската Директива 2013/35/ЕК за защита на работещите от въздействие на ЕМП.

ГСЕ са дефинирани в обхвата от 1 Hz до 10 MHz и са вътрешните електрически полета, предизвикани чрез индукция от въздействието на ЕП или МП върху човека. Те се отнасят до **последниците за здравето** на работника, свързано с електрическа стимулация на всички тъкани на периферната и централната нервна система. Отделно, за честотния обхват от 0 до 400 Hz, са въведени и ГСЕ по отношение на **ефектите на чувствителност**, свързани с въздействието на ЕП върху централната нервна система, както и до зрителни нарушения и незначителни преходни промени във функционирането на мозъка.

Стойностите за предприемане на действие (СПД) за честотния обхват от 1 Hz до 10 MHz поотделно въвеждат прагове за интензитетите на ЕП и за магнитната индукция.

Ниските СПД за външни електрически полета се основават на ограничаването на вътрешното ЕП под ГСЕ и на искровите разряди в работната среда. **Високите СПД** са въведени така, че вътрешното ЕП е ограничено под ГСЕ при условие, че са взети следните мерки за защита за предотвратяване на искровите разряди:

„Работодателят е длъжен да предприеме специфични защитни мерки, както следва:

1. *Обучение на работещите;*
2. *Използване на технически средства и индивидуална защита, като заземяване на работното оборудване/места, свързване на работещите с работното оборудване/места (свързване с еднакъв потенциал);*
3. *Осигуряване на защитни изолиращи обувки, ръкавици и защитно облекло.*

СПД при експозиция на МП също са въведени като ниски и високи СПД, както и стойности на индуцирания ток в крайниците на човека.

Ниските СПД за честоти под 400 Hz се извеждат от ГСЕ по отношение на ефекта за чувствителност, а за честоти над 400 Hz - по отношение на последниците за здравето.

Високите СПД се извеждат от ГСЕ по отношение на последниците за здравето за вътрешни ЕП, свързани с електрическата стимулация на

периферни и автономни нервни тъкани в главата и трупа. Спазването на високите СПД гарантира, че ГСЕ по отношение на последниците за здравето не се превишават, но са възможни въздействия, свързани със зрителни нарушения в ретината и незначителни преходни промени във функционирането на мозъка, ако експозицията на главата превишава ниските СПД за честоти до 400 Hz.

СПД за експозиция на крайниците се извеждат от ГСЕ по отношение на последниците за здравето за вътрешни ЕП, свързани с електрическата стимулация на тъкани в крайниците, като се има предвид, че МП въздейства по-слабо на крайниците, в сравнение с цялото тяло.

Всички критерии, на основата на които са разработени граничните стойности от международните организации, не включват последните научни изследвания за възможната канцерогенеза на СНЧ полета, както и цитираните от някои автори резонансни и „прозоречни“ ефекти на въздействие. Последните все още не са доказани с достатъчна достоверност, въпреки че поставят сериозни въпроси върху хигиенното нормиране и оценката на риска.

В последните 5 години **стойността на магнитната индукция 3 mG (0,3 µT) се счита за праг, свързан с вероятността за канцерогенеза**. Той е приет и в някои световни стандарти за максимално допустимо излъчване от видеомонитори.

Последните дискутирани ефекти (прозоречни, резонансни) се дължат на нискоинтензивното действие на електромагнитните полета. Тези ефекти често се наричат действия на нискоенергетичните нейонизиращи лъчения, и важат и за нискочестотните електрически и магнитни полета. Тук не трябва да забравяме също, че всички взаимодействия в природата в основата си имат електромагнитна природа, което още повече доказва значението на дори най-слабите електромагнитни въздействия върху човека.

В култа към „електромагнетизма“ в някои случаи се достига до сериозни парадокси.

Например, в хомеопатията съществува **“хипо-**

теза за промяна на фазата: “Хомеопатичното лекарство действа, като предоставя на организма специфична електромагнитна вълнова честота/ поле”.

Друга хипотеза, изградена на **данните от електрофизиологията**, казва, че “организмът има специфична електромагнитна вълнова честота/поле, които съответстват на състоянието на здраве в даден момент”.

Ето още един **пример от хомеопатията**: “Според вълновата теория (Принципа на суперпозицията) резултантната електромагнитна вълнова честота/поле е представена чрез непрекъснатата линия и това е резултантното обостряне и последващото състояние на здраве при прилагане на точното хомеопатично лекарство. То осигурява необходимото електромагнитно вълново поле или информация. Когато внасяме точното хомеопатично лекарство, предизвикваме промяна във фазата на организма. Тази промяна във фазата се обяснява от теорията на Фрьолих за кохерентната възбуда и хистерезиса, от закона на Ом за електричеството, константата на Айнщайн и закона на Фик за дифузията.”

Сериозни неточности, нали? Дори “неточности” е много слабо казано.

Защо хомеопатията? Защото точно това е пример за нискоинтензивно въздействие, за което има доказателства за отчетлив ефект при “безкрайно разреждане” (dilution) на веществото, което предизвиква съответното заболяване.

Възможни ли са биологични ефекти, възникващи от въздействие със слаби електромагнитни полета?

Един отговор на този въпрос дава Robert Adair от Yale University, Department of Physics.

Слабите свръхнискочестотни (СНЧ) полета се маскират от шума в биологичната тъкан (Johnson noise). Единственият начин по който тези полета могат да въздействат, е чрез резонанси в тесни честотни ленти $\Delta\nu$.

Възможните резонанси на клетъчно ниво са свързани с термодинамични изисквания - средната резонансна енергия да бъде не по-малка от:

$$k \cdot T = \frac{1}{40} eV = 4,3 \cdot 10^{-21} J$$

В случай, че подобни резонанси са в тясна честотна ивица $\Delta\nu \approx 1$ Hz, те могат да се реализират за времена $\delta t \approx 1/\delta\nu \approx 1,56$ s, което е много по-продължителен период от времената, характеризиращи взаимодействията в кондензираната материя $\approx 10^{-11}$ s. За пример, една от времеконстантите в биохронологията на организма се приема 75 ms. Robert Adair предлага различни езотерични механизми (на хаоса, солитонов ефект, колективни ефекти на Bose - Einstein). Ето някои механизми:

1. Циклотронен резонанс

Отнася се за частица с маса m със заряд q в магнитно поле и се дефинира за следната кръгова честота:

$$\omega = \frac{q \cdot B}{m},$$

която е независима от радиуса на орбитата или от енергията на йона. За единичен йон Ca^{2+} , магнитна индукция от 42 μT дава честота $\nu(\omega) = 16$ Hz. Интересен факт е, че точно при тази честота учените откриват експериментално сериозно „напускане” на Ca^{2+} от клетката, като резонансен ефект.

Като пример ще споменем, че измервания при електропроводи показват, че при тази хармонична се достига до стойности на магнитната индукция $B \approx 50 \mu\text{T}$.

2. Механичен резонанс

Свързан е с границите на клетката и топлинния шум. Характеристичната честота е:

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}},$$

където честотата ν характеризира нискочестотната вибрация на клетката, M е характеристичната маса, а k е константата на еластичност:

$$\frac{1}{2} M \cdot V_{\max}^2 = \frac{1}{2} k A^2 \geq kT$$

$$V_{\max} = \omega \cdot A$$

3. Електрически резонанс

Това е резонанс, при който енергията се трансформира циклично от енергия на магнитното поле в енергия на електрическото поле.

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

4. Електромеханични резонанси

Възможни са при 60 Hz, където потенциалната енергия $\geq kT$ се зарежда капацитивно в електрически полета с кинетична енергия $> kT$, водеща до движение на клетъчни елементи.

5. Ядрено-магнитен резонанс

Взаимодействието на магнитното поле с магнитния момент μ на ядрата (с ненулев спин) - води до прецесия на ядрата по силовите линии на полето.

$$\nu = \frac{B \cdot \mu}{\pi}$$

Честотата на прецесия е ≈ 2000 Hz; времето за релаксация $\tau \geq 30$ s; $B\mu/kT \approx 10^{-10}$; енергията за прецесия е $< 10^{-7}$ kT.

Този механизъм е много малко вероятен.

6. Хаос, солитони и други (Bose - Einstein съображения, фазови преходи, свръхпроводимост при стайна температура).

- * **Хаос** - физиологията на клетките, органите, организма се вмести в теорията на хаоса. Хаотичните системи са много чувствителни.
- * **Солитони** - на основата на нелинейните характеристики на ендоклетъчните и екзоклетъчните мембрани.
- * **Bose - Einstein разглеждания** - колективните следствия от ефектите на взаимодействие с големи домени, като клетъчните мембрани; флуктуациите на електрическото поле се редуцират поради процес на усредняване. Въздействията върху големи домени

ще водят до енергии, над kT, които могат да имат съответния биологичен ефект.

- * **Прозорци (window effects)** - например Ca^{2+} Efflux (освобождаване през каналите на мембраните на клетките).

Действат на принципа "да/не". Резонансната честота за Ca^{2+} efflux е $\nu = 6; 16$ Hz (при 5 V/m).

Какви са стойностите на електрическото поле, индуцирано от външно ЕМП? При интензитет $E = 1 \div 100$ V/m външно поле, в тъканта се индуцира електрическо поле, $10^{-7} \div 10^{-8}$ V/m от външното поле, т.е. $E_{\text{вътр.}} = 10^{-6} \div 10^{-8}$ V/m. Върху мембраната на клетката, обаче, интензитетът на полето е 10^5 пъти по-висок от този в биологичната тъкан, т.е.

$$E_{\text{мембр.}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \div 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ V/m.}$$

Като **пример** може да се даде резонансното изменение на активността на Na^+ , K^+ , АТ-фаза в липозоми при $E = 0 \div 4$ V/m и $f = 100$ Hz (максимум при $E = 1$ V/m).

Друг пример е за магнитното поле с индукция $B = 0,042 \div 0,60$ mT, което води до намаляване на скоростта на пролиферация на фибропласти на зайци с 5-10 %, а при $B > 0,60$ mT, тя нараства с 20 %.

Националното бюро по радиационна защита в САЩ (NCRP) говори, че индуциран ток в мозъчната тъкан с плътност $j = 0,1$ pA/cm² не трябва да има биологична реакция, поради това, че тази стойност е под ендогенните екстрацелуларни стойности. Йоните Ca^{2+} обаче, опровергават това - тяхното освобождаване от клетките се изменя още при тази стойност на индуцирания ток, предизвикан от външно поле с изключително нисък интензитет $E = 3$ V/m (при $f = 16$ Hz - "прозоречен ефект"). Подобни доказателства за нискоинтензивни въздействия могат да се открият в много публикации през последните години.

След като толкова ниски стойности на ЕМП могат да доведат до сериозни биологични ефекти, къде са праговете на това въздействие? Има ли такива прагове или отново трябва да заговорим за "безпрагов биологичен ефект"? Достатъчни са данните от последните 10 години от епидемиологични проучвания, които говорят за 3 - 8 пъти по-честите заболявания от някои специфични видове рак при работещите в т.

нар. “електрически” професии, и при деца, живеещи в жилища с магнитно поле с индукция $B > 3 \text{ mG}$. И това е при праг за населението в Европа 5 - 10 G (1000 пъти по-голяма стойност!).

Или хигиенните норми не са свършени, или учените още не са установили достатъчно твърдо механизмите на вредния ефект на ЕМП при хронично нискоинтензивно въздействие. Достатъчно е да споменем, че все още в света няма международни норми за ЕМП, различните школи спорят по критериите за оценка на вредния ефект на ЕМП, по коефициентите на биологичен запас и т.н.

Нека тук да оставим отворен въпроса за нискоинтензивните въздействия на ЕМ лъчения и да дадем още възможности за спорове и дискусии.

Тук ще представим някои данни от измервания на нискочестотни ЕП и МП при различни производства и приложения.

Таблица 6. Стойности на електрическото и на магнитното поле за водноелектрически централи в относителни единици (в % от граничната стойност), спрямо националните норми (до 2016 г.) и граничните стойности, препоръчани от ICNIRP (Международната организация по защита от нейонизиращи лъчения)

Място на измерване	Национални норми		Ръководство на ICNIRP	
	ЕП	МП	ЕП	МП
Турбинни етажи	0,03	0,01	0,002	0,30
Генераторни етажи	0,20	2,00	0,10	4,00
Машинни зали	0,05	1,00	0,03	2,00

Таблица 7. Стойности на електрическото поле и на магнитното поле в електрически транспорт в относителни единици (в %), спрямо националните норми и граничните стойности, препоръчани от ICNIRP

Транспорт	Национални норми		Ръководство на ICNIRP	
	ЕП	МП	ЕП	МП
Железопътен	1,00	0,20	0,60	0,60
Тролеен	0,03	0,04	0,02	0,10

Таблица 8. Стойности на електрическото и магнитното поле в относителни единици за открити разпределителни устройства, спрямо националните хигиенни норми и граничните стойности, препоръчани от ICNIRP

ОРУ	Национални норми		Ръководство на ICNIRP	
	ЕП *	МП	ЕП	МП
110 kV	58,00	0,20	29,00	0,50
220 kV	112,00	0,40	56,00	0,90
400 kV	314,00	0,20	157,00	0,50

* сравнението е направено спрямо допустимите стойности за неограничен престой

Фиг. 14. Трафопост в жилищна сграда



Източник: Zaryabova et al, 2013

Таблица 9. Стойности на електрическото и магнитното поле за трафопостове в жилищни сгради, в сравнение с граничните стойности, препоръчани от ICNIRP

Тип монтаж	Ръководство на ICNIRP *	
	ЕП	МП
Сутеренен тип	0,09	0,45
Етажен тип	0,10	1,49
Пристроен тип	0,01	0,49

* За населени места няма национални хигиенни норми за ЕМП с промишлена честота 50 Hz

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вредни действия на електричеството и защита от тях, под ред. на проф.Г.Анев, „Техника“, С., 1989 г.
2. Делиник, А. – Хомеопатия. Научно доказани факти и възможности, Сборник статии, изд. Асоциация на лекарите – хомеопати в България, 1999 г.
3. Израел, М. – Оценка на експозицията и риска от въздействие на ЕМП върху персонала н ОРУ и ЗРУ, Безопасност и трудова медицина, 2004, с.18-22.
4. Израел М., В. Зарябова, М. Иванова, Ц. Шаламанова, П. Иванова – Риск от въздействие на електромагнитни полета в България и политика за неговото ограничаване, Българско списание за обществено здраве, издание на НЦООЗ, 2009, стр.58-72.
5. Наредба № РД-07-5 от 15 ноември 2016 г. за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на електромагнитни полета, ДВ, бр. 95 от 2016 г.
6. Стефанов, Б. – Радиовълни и магнитни полета (хигиенни аспекти), изд. „Медицина и физкултура“, София, 1990, стр. 144.
7. Adair, R. – Biological effects on the cellular level of electric field pulses, Health Physics, Vol. 61, No. 3, pp. 395-399, 1991.
8. Bioelectromagnetics, Current Concepts, NATO Security through Science Series – B: Physics and Biophysics, Edited by S. Ayrapetyan, M. Markov, Springer, 2006, pp. 445.
9. Bawin S. and R. Adair – Are biological effects of weak ELF fields possible?, Proc. Nat. Acad. Sci., 1999.
10. Blackman, C., Chaos and quote theory, Bioelectromagnetics, 10, 115, 1989.
11. Exposure Health Criteria – EHC No.238: Extremely low frequency fields, WHO, Geneva, 2007.
12. Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and healyj consequences (0-100 kHz), ICNIRP 13/2003, pp. 500.
13. Frey A. – On the electromagnetic field interaction with biological systems, R.G.Landes Company, Austin, 1994.
14. Health Effects of Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz, Ed. R. Matthes, E. van Rongen, M. Repacholi, Proc. Maastricht, The Netherlands, ICNIRP 8/99, 1999.
15. Hietanen M., A-M. Hamalainen, P. von Handelstadh – Electromagnetic fields in the work environment, Guidance for occupational exposure assessment, Helsinki, 2002.
16. Israel M., P. Ivanova, M. Ivanova - Electromagnetic fields and other physical factors around wind power generators (pilot study), Springer, The Environmentalist, DOI: 10.1007/s10669-010-9300-y. 2011
17. Kudrashov YB, YF Perov, IA Golenitzkaya – Mechanisms of the Radiobiological Effects of Non-ionizing Electromagnetic Radiation with Low Frequencies, Radiation Biology, Radioecology, 1999, Vol.39, No.1, p.79-83.
18. Non-Thermal Effects of RF Electromagnetic Fields, Ed. J. Bernhardt, R. Matthes, M. Repacholi, Proc. Munich, Germany, ICNIRP 3/97, 1996.
19. Repacholi, M. and B. Greenebaum – Interaction of static and low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs, Bioelectromagnetics, 20:133-160, 1999.
20. Zaryabova,V., Ts. Shalamanova, M. Israel – Pilot study of extremely low frequency magnetic fields emitted by transformers in dwellings. Social aspects, Electromagnetic Biology and Medicine 06/2013; 32(2):209-17.

РАЗДЕЛ 3

Радиочестотни и микровълнови електромагнитни полета. Източници. Мобилна комуникация. Термичен и субтермични ефекти от въздействието им. „Радиовълново въздействие“. Максимално допустими стойности. Оценка на риска. Способи за намаляване на интензитетите на електромагнитното поле

Радиочестотните (РЧ) електромагнитни вълни обхващат широк честотен диапазон, като е ясно още от наименованието им, те основно се прилагат в комуникацията. Радиочестотите са основата на радиовръзките и се разделят на подобхвати, свързани с наименованията на съответните диапазони в комуникацията: свръхдълги и дълги вълни (ниски честоти), средни вълни (средни честоти), къси вълни (високи честоти), ултракъси вълни (ултрависоки честоти), както е показано в Таблица № 1, Глава 4. Те са разделени на канали, както следва:

- Метров обхват I-LF: 48 – 100 MHz (каналите от № 1 до № 5). Каналите от тази радиочестотна лента са използвани за ТВ разпръскване до изтичане на амортизационния срок на апаратурата, но не по-късно от 2010 г. (Национален план за разпределение на радиочестотния спектър на радиочестоти и радиочестотни ленти);

- Метров обхват II - HF (174-230 MHz) (каналите от № 7 до № 12). Каналите от тази радиочестотна лента са използвани за ТВ разпръскване до 2013 г., когато се преминава към цифрово телевизионно излъчване;
- Дециметров обхват - UHF (470-862 MHz) (каналите от № 21 до № 69). Каналите от радиочестотна лента се използват в настоящия момент за ТВ разпръскване за цели на ефирната цифрова телевизия.

За радиоразпръскване се прилагат честоти от 87,5 до 108 MHz, които са в обхвата УКВ-FM.

Представената в Глава 4 класификация не се отличава съществено от тази, приета за целите на радиоразпръскването. Основните различия са в нискочестотния обхват, както и в наименованията на диапазоните КВ и УКВ.

Източниците на ЕМП, използвани за радиоразпръскване, са радиопредавателите на дълги, средни, къси и ултракъси вълни. Обикновено само последните (УКВ) антени се намират в населените места, въпреки че и останалите имат значително влияние върху обитавани райони, поради големите размери на хигиенно защитните зони около тях (в някои случаи до километри).

Други технологии, използващи РЧ полета, са тези за термична обработка на метали. При тях, електромагнитните вълни се използват за нагряване на метали чрез индуциране на токове на Фуко, загряващи материала. В зависимост от мощността на излъчващия генератор, големината на „работния елемент“ – индуктора, както и от неговия размер, това нагряване може да бъде повърхностно или обемно. Повърхностното индукционно нагряване се използва за процеси като закаляване, отвърщане, спойка, заваряване, шев на тръби, повърхностно гравироване на метала, докато обемното нагряване може да се използва за формоване на детайли или за прецизно леене на метали. Пещите за топене на метали чрез използване на ЕМП се прилагат както за леене на черни метали, така и в цветната металургия, поради създаването на хомогенно (еднородно) поле в краен обем – необходимост за получаване на хомогенен материал без сериозни дефекти. Честотите, на които работят

подобни генератори в радиочестотния обхват, основно са: 66÷74 kHz, 440 kHz, 1,56 MHz, 2,5 MHz, т.е. те са в средночестотния и високочестотния обхват.

Други промишлени генератори на ЕМП са технологичните машини за термична обработка на пластмаси: слепване на PVC повърхности, сушене на дървесина и други изолационни плоскости, обработка на стъклени, бакелитови и други пластмасови материали. Основните честоти на излъчване на подобни генератори са 13,56 MHz (основно в САЩ), 27,12 MHz и 40,68 MHz – ВЧ и УВЧ обхвати. Работният елемент при тези излъчватели (т.нар. швайспреси) са две успоредни метални плочи, образувачи кондензатор.

Медицината (кабинетите за физикална терапия и рехабилитация) използва уреди, излъчващи РЧ полета, както следва: Д'Арсонвал апарати (излъчват в широк честотен обхват, с основна честота около 150 kHz), уреди за УВЧ терапия (27,12 MHz). Работните елементи на тези източници на ЕМП са различни – стъклен електрод за Д'Арсонвал апарата и магнитни намотки за УВЧ генератора.

В УКВ обхвата се прилагат много допълнителни източници за комуникация, като локатори, радари, навигационни системи (в авиацията, военното дело), както и телевизионни (ТВ) предаватели (част от каналите на телевизията).

В последно време в супер- и хипермаркетите се използват така наречените системи „анти-кражба“, намиращи се в близост до касите и излъчващи ЕМП в късовълновия обхват.

В промишлеността се прилагат и „електроерозийни машини“, които работят с електрод или метална нишка и обработват повърхността на метала чрез подаване на правоъгълни импулсни сигнали, взаимодействащи с йоните и разрушаващи кристалната решетка на материала. Процесите са продължителни – няколко часа, и водят до прецизно рязане, формоване на повърхността, прецизно гравирание и други подобни фини процеси. Основната честота на излъчване е най-често около 250 kHz, но тъй като сигналът е импулсен, излъчваното ЕМП е в широк честотен обхват, включващ честоти до няколко мегагерца.

Видеодисплеите (особено тези с електронно-лъчева тръба) също са източници на широкодиапазонно излъчване на ЕМП: от електростатично поле до честоти, близки до рентгеновото лъчение (меко лъчение). В основата си, повече от 90% от ЕМП, излъчено от видеодисплея, се намира в спектъра на нискочестотните лъчения с максимална честота от 300 kHz. В обхвата под 150 kHz видеодисплеят излъчва повече от 75% от целия обхват на електромагнитните лъчения.

Микровълновите (СВЧ) лъчения се използват главно за комуникация.

В този обхват са почти всички видове локатори и радари, използвани за целите на авиацията, метеорологията, за борба с градушките, сателитни системи за ТВ връзка, за космически изследвания.

ТВ предавателите, освен в РЧ обхват, излъчват и в този честотен диапазон.

Мобилната комуникация включва редица технологии, които навлизат изключително бързо в световен мащаб, описани по-долу.

ЕМВ с честота 2450 MHz се прилагат в промишлеността и в медицината. Микровълни с тази честота се използват за вулканизация на каучук, а също и за целите на физиотерапията – при медицинските радари. На същата честота излъчват микровълновите фурни, които се използват както в хранително-вкусовата промишленост, в търговията, така и в бита.

Историята

Разцветът на компютърната индустрия през 80-те години, последван от бума на интернет и безжичните технологии през 90-те, претърпява своето естествено развитие в XXI век, който със сигурност ще премине под знака на телекомуникациите. Нуждата от бърз и скоростен интернет, както и от висококачествени мобилни услуги, подкрепяна от развитието на индустрията в областта на лаптопите, PDA устройствата и телефоните с камера, спомогнаха на пазара да се появят т.нар. мрежи от трето и четвърто поколение (3G, 4G, дори 5G).

Първото поколение мрежи (1G) използва аналогова връзка за пренос само на глас. В

световен мащаб започват да се внедряват основно мобилни мрежи, използващи аналогово пренасяне на говорната информация посредством честотна модулация и в честотен диапазон около 450 MHz и 900 MHz. Обикновено те покриват територията на съответната страна и техният капацитет е от порядъка на няколко стотин хиляди абонати.

Непрекъснатото усъвършенстване на мобилните телефонни услуги довежда и до прехода от аналогови към цифрови системи за мобилна комуникация. Въведен е първият европейски дигитален стандарт от *второто поколение* през 1991 г., **глобална система за мобилни комуникации GSM** (Global Service for Mobile Communications), разработен с цел да създаде съвместимост в цяла Европа. Старът на 2G е през 1991 г. Скоростта за пренос на потребителски данни е 9,6 kbit/s. В GSM се използва TDMA (Time Division Multiple Access) - система с деление по време, при която една носеща радиочестота в дадена клетка на оператора се споделя от до 8 потребители едновременно – в пълноскоростен режим и до 16 – при полускоростен. По-късното развитие на стандарта GSM е стандартът GPRS (считан за междинно поколение – 2,5G), който позволява използването на мобилен интернет с по-висока скорост, както и EDGE за мобилна телевизия (GPRS/EDGE GPRS = General Packet Radio Services, EDGE = Enhanced Data rates for GSM Evolution)

Третото поколение мобилни комуникации (3G) включва основно 3 стандарта - UMTS, WCDMA и CDMA2000. (UMTS = Universal Mobile Telecommunications System, W-CDMA = Wideband Code Division Multiple Access) Тези системи са въведени през 2001 г. Предлагат по-висока гласова и информационна производителност, отколкото по-старите технологии за същата или по-ниска мощност. Мощността на предавателя на базовата станция се контролира между минималната и максималната стойност, така че да бъде напълно достатъчна за необходимия трафик. В някои страни се използва също система, подобна на W-CDMA, наречена CDMA2000/често съкратено просто CDMA. 3G осигурява скорости от 384 kbit/s до 2.4 Mbit/s и съответно прави възможни нови

услуги като видеоразговор, радио- и тв-приемане и др.

Първите 3G мрежи се появяват в Япония през 2001 г., следват Европа, регионът на Азия и Пасифика. В САЩ първата мрежа от този тип е изградена през 2003 г.

UMTS е нагледен пример за еволюцията от второ към трето поколение телекомуникации от гледна точка на капацитет, скорост на пренос на данни и нови услуги. Тя осигурява до пет пъти по-висока скорост за пренос на данни в сравнение GPRS, или до 384 kB/s Downlink и до 64 kB/s Uplink. В момента в света функционират 60 вида 3G/UMTS мрежи, използващи технологията WCDMA в повече от 25 страни, а изборът на 3G телефон може да бъде направен измежду 100 предложения на пазара.

Първата мрежа от този тип е пусната от пионера в областта – японския оператор NTT DoCoMo. 3G позволява провеждането не само на телефонни разговори, но и високоскоростен обмен на данни между абонатите на мобилната мрежа, както и видеовръзка, видеоконференции, видео MMS, мобилен пренос на данни със скорост до 1 Mb, електронно банкиране и т.н. през мобилния телефон. Вече се тества и предлага и излъчване на ТВ канали по мобилната мрежа.

Последните технически постижения доведоха до създаването на *3,5G стандарт, носещ името HSPA* (High Speed Packet Access), позволяващ скорости от 3 Mbit/s до 14 Mbit/s.

4G мрежите се разработват единствено за пренос на данни, т.е. интернет услуги. Терминът 4G обединява стандарти като LTE и WiMAX, като технологиите могат да споделят работни честоти със сегашните 3G и 2G мрежи, без да се предизвика интерференция.

Технологията LTE (Long Term Evolution) е безжична широколентова технология за дългосрочно развитие, която в резултат на въведената система за пакетен пренос на данните, се отличава с по-ефективно ползване на радиочестотния спектър и с много по-високи скорости на мобилен обмен на данни в сравнение с GSM и UMTS. Развитието на LTE технологията е основно в радиочестот-

ни обхвати 700 MHz (694 – 790 MHz), 800 MHz (790 – 862 MHz), 1800 MHz (1710 - 1785 MHz и 1805 – 1880 MHz), 2 GHz (1900 – 1980 MHz, 2010 – 2025 MHz и 2110 – 2170 MHz в граници 2150 – 2170 MHz) и радиочестотни ленти 2500 – 2690 MHz и 3400 – 3800 MHz. Всички LTE мрежи в България оперират в честотния диапазон около 1800 MHz.

Наследникът на LTE – LTE-Advanced е мобилна технология от следващо поколение, т.е след LTE. Скоростта на предаване на данните спрямо останалите мобилни мрежи е значително по-висока.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) е технология, създадена през 2001 година, която е базирана на стандарта IEEE 802.16. На теория може да достигне скорости до 40 Mbps. WiMAX е по-близо до WiFi мрежите и данните се прехвърлят подобно на VoIP. WiMAX е технология за безжичен интернет достъп за големи райони. Тя е част от „четвърто поколение“ безжична технология. WiMAX като технология е базирана на стандарти, позволяващи доставка на отдалечен безжичен достъп. WiMAX дава възможност за широколентово предоставяне на услуги като VoIP, видео и достъп до интернет едновременно. Дава възможност и за оперативна съвместимост на WiMAX с клетъчни мрежи. Антените на WiMAX могат да споделят трафика на клетка, без да компрометират клетъчните масиви от данни.

Wi-Fi е марка първоначално лицензирана от Wi-Fi Alliance да описва основната технология на безжичната локална мрежа (WLAN), базирана на IEEE 802.11 спецификациите. Тя е разработена за използване от преносимите изчислителни устройства, такива като преносими компютри, в локални мрежи (LAN), но сега все повече се използва с други услуги, включително в Internet и VoIP телефонния достъп, игрите, базовото свързване на потребителската електроника, такава като телевизорите и DVD устройствата, или цифровите камери.

Типичната Wi-Fi среда съдържа една или повече Безжични точки за достъп (ТД) (Wireless access point, Access Point (APs)) и един или

повече клиенти. Една ТД излъчва своето "Име на мрежата" (SSID – Service Set Identifier, „Network name“) чрез пакети, наричени маяци (beacons), които обикновено се излъчват всеки 100ms.

Пето поколение мобилни мрежи или пето поколение безжични системи, съкратено 5G, се планира да бъде внедрено през 2020 година. Реално стандарт за 5G все още не е разработен и вероятно създаването и дефинирането му ще отнеме време и по отношение на необходимите технологии, с които ще се зададат параметрите за неговото формиране. Освен по-бързи скорости на интернет връзката, бъдещите 5G стандарти ще имат за цел по-голям капацитет, отколкото сегашната 4G, което позволява по-голям брой потребители на мобилни комуникации за единица площ и консумация на по-високи или неограничени количества данни в гигабайт. Възможностите на 5G ще са насочени и към развитието на технологии, като автономни автомобили, и към развитието на Интернет (Internet of Things), което ще позволява увеличаване на броя свързани устройства, нуждаещи се от интернет. 5G ще е стандарт, насочен към технологиите от ново поколение.

В България

В началото на месец март 2006 г. български телеком предложи на пазара и първите услуги, базирани на първата у нас 3G мрежа, поддържаща скорости до 14,4 MBps. Тестването й започна в края на 2005 г. и поддържа изключително модерната HSDPA технология.

WiMAX (както и WiFi) представлява технология за безжична мрежова връзка. Въсъщност тези два термина се отнасят по-скоро за сертификати, на които следва да отговаря оборудването, съвместимо със стандартите 802.xx.

Честотни канали

С изключение на 802.11a, който работи на 5 GHz, Wi-Fi използва спектъра около 2,4 GHz. Честотата за 802.11 b/g е от 2,4 GHz до 2,487 GHz. Всеки канал е 22 MHz широк, като съществува 5 MHz стъпка до следващия по-висок канал.

Максималният брой налични канали за Wi-Fi са:

- 13 за Европа
- 11 за Северна Америка
- 14 за Япония

В Северна Америка, е препоръчително да се използват само канали 1, 6, и 11 за 802.11b/g, за да се минимизира интерференцията от близкостоящите канали

Неблагоприятни ефекти от въздействието с радиочестотни ЕМП

В радиочестотния обхват се говори най-много за **топлинното действие на вълните**.

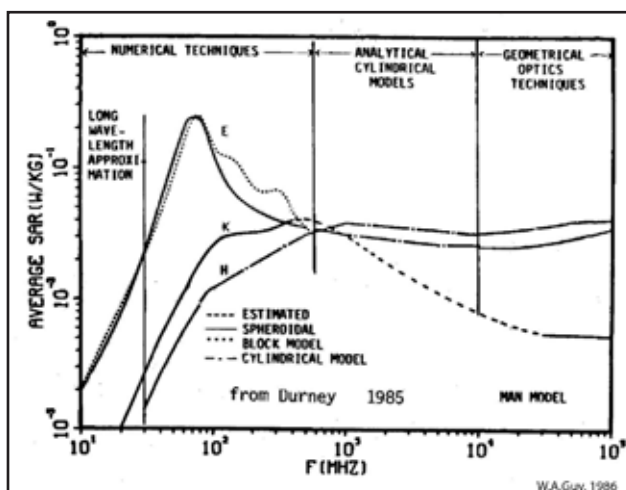
То се изразява в това, че погълнатата електромагнитна енергия от организма се превръща в топлина. Световната здравна организация е приела за неблагоприятен ефект от топлинното действие на радиочестотите и микровълните повишение на телесната температура с повече от 1°C . Така че, когато говорим за доказаните ефекти от въздействие на радиочестотните и микровълновите ЕМП, те се изразяват с термичния ефект.

Погълнатата и разсеяната електромагнитна енергия в организма зависи от много фактори, като например енергиите на двете компоненти на полето, конфигурацията на тялото на човека спрямо силовите линии на електрическото и магнитното поле, електрическите и магнитните характеристики на биологичните тъкани и т.н.

Намирането на определени зависимости между интензитетите на полето извън тялото и индуцираното поле вътре в тъканта E_t е изключително трудно. Ефектът от въздействието е свързан с плътността на електрическия ток вътре в тъканта, и оттам – с интензитета на индуцираното поле в нея. Основната величина, която се използва за определяне на погълнатата енергия в тялото, е **специфичната погълната мощност (SAR или СПМ)**. Тази величина е много важна за определяне на възможността различни тъкани в организма да поглъщат по различен начин ЕМП от радио и микровълновия обхват.

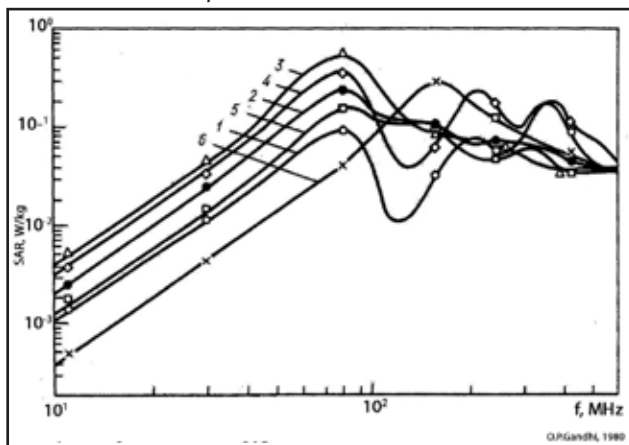
Величината SAR зависи от много фактори: от честотата на ЕМВ, от разположението на векторите на ЕП и МП спрямо дългата ос на човека, от дебелината на мастната тъкан на човека, от неговите геометрични размери и работната поза. За среден на ръст човек (висок 1,75 m и тегло 70 kg), зависимостите на SAR от разположението на човека спрямо векторите на електрическото и магнитното поле, са представени на фиг. 15.

Фиг. 15. Зависимост на SAR от разположението на човека спрямо силовите линии на електрическото и магнитното поле



На Фиг. 16 е представена зависимостта на SAR от честотата при различни части от тялото.

Фиг. 16. Зависимост на SAR от честотата на електромагнитната вълна



Размерите на биологичния обект съществено влияят върху поглъщането на магнитно поле. Например средната SAR за сферичен модел на човека е 300 пъти по-голяма от стойността на SAR за плъх при равни стойности на магнитното поле на падащата вълна.

От Фиг. 16 се вижда ясно, че от ниски честоти до честота около 30 MHz зависимостта на поглънатата мощност от квадрата на честотата е линейна. При честоти от 30 MHz до около 10 GHz има максимуми на поглъщане, които зависят от различни резонанси, които се определят от размерите на тялото и части от него. Например резонансната честота за поглъщане от цяло тяло, е около 70 MHz, за глава – от 150 до 350 MHz, за водните молекули характеристичните честоти на поглъщане са при около 10 GHz. Над 10 GHz ЕМП се поглъщат само от повърхностния слой на кожата, т.е. проникването им в организма намалява бързо до ефектите, които се получават при облъчване с ИЧ лъчение върху кожата (дължина на вълната 1 mm – края на микровълновия обхват), поради което там величината SAR не е от значение, а стойността на падащата плътност на мощност.

Термичният ефект от въздействието на ЕМП е най-добре изучен. Поглънатата електромагнитна енергия, превърната в топлина, има многобройни биологични и патофизиологични ефекти. Термичните изменения водят до изгаряния, умъртвяване на клетки, кръвоизливи, промени на структурата на клетките и други морфологични изменения в тъканите. Тези промени са доказани при експерименти с животни. Степента на пораженията зависи от топлинната чувствителност на тъканта, от експозицията, от честотата, от стойностите на ЕМП, както и от околната температура, състоянието на терморегулационните механизми на организма и др.

Един от ефектите, който възниква като резултат от термичното действие на микровълните при дължини на вълните от 20 до 3 cm (1,5 – 10 GHz), е катарактата на очите. Това е типичен пример на термична катаракта, по типа на ИЧ въздействие. Доказано е, че топлинният ефект е силно зависим от типа на тъканта, особено в зависимост от кръвоснабдяването ѝ. Например, „*критични органи*”

могат да се считат кухинните органи или тези с различно кръвоснабдяване в сравнение с околните тъкани: тестиси, яйчници, пикочен мехур.

При интензитети на ЕМП под термичните, се наблюдават нарушения в централната и вегетативната нервна система, CCC, имунната и половата система.

Оплакванията на работещите продължително в условия на радиочестотни и микровълнови ЕМП са: главоболие, лесна уморяемост, намаляване на интелектуалния капацитет, понижаване на паметта, емоционална нестабилност, импотентност. В много случаи тези оплаквания са свързани и с обективни нарушения в органите и системите на организма. В течение на времето тези оплаквания могат да намалеят или изчезнат при прекратяване на облъчването, но могат и да се задълбочат до сериозни патологични състояния. Например в професионалната патология са известни и признати като резултат от микровълново въздействие микровълновата *катаракта, хипертонията, исхемичната болест на сърцето*.

Някои епидемиологични изследвания в миналото доказват развитието на синдроми и симптоми под въздействие на радиочестотни и микровълнови ЕМП, протичащи в 3 стадия.

В началния стадий се наблюдава астеничният синдром. Той се представя като резултат от изтощаване на ЦНС. Вегетативните промени се свеждат до намаляване на кръвното налягане, понижаване на тонуса на артериалните съдове и забавяне на пулса. Синдромът протича при общо добро състояние на организма и при прекъсване на работа в условия на ЕМП, измененията бързо отзвучават.

Астено-вегетативният синдром е характерен за втория етап на заболяването. В клиничната картина на този синдром, на фона на задълбочаването на описаните по-горе явления на отпадналост, първостепенно значение придобиват вегетативните нарушения, свързани с повишена възбудимост на симпатиковата система и повишаване на съдовия тонус.

В определен етап на нарастване на патологичните явления възниква т.нар. хипоталамичен

синдром, който се характеризира със задълбочаване на описаните синдроми и води до трайна неработоспособност.

Съществено значение в патогенетичните механизми на развитието на **„радиовълновата болест“** има нарушената функция на **системата хипоталамус-хипофиза-надбъбречни жлези**. Реакцията на организма е неспецифична и е защитно-приспособителна, както би била към други неблагоприятни външни въздействия с неспецифичен характер.

При електромагнитно въздействие се повлияват и анализаторите. Освен очният анализатор реагират слуховият, рецепторите за топлина, за допир, механичните рецептори. Известни са случаи на „усещане за топлина“ в условия на ЕМП, а още по-чести са случаите на **„микровълнов слух“**. Последните се получават при облъчване с модулирани микровълнови ЕМП, които имат ниска честота на модулация, която е в звуковия диапазон на честотите.

Най-чувствителна към електромагнитно въздействие се оказва сърдечносъдовата система. Въпреки че промените в нея са свързани с влияние на ЕМП върху автономната нервна система, често полето има и пряко действие върху кръвотока, еластичността на съдовете и др. Функционалните нарушения на CCC могат да се сведат до промени в ЕКГ, артериална хипертония, промени в сърдечния ритъм, в камерната проводимост, в периферното кръвообращение.

Тъй като микровълновото ЕМП е нейонизиращо лъчение, тоест то няма достатъчна енергия да прекъсне връзките между атомите, е невъзможно директно да бъде причина за канцерогенен процес, въпреки че съществуват притеснения, че то може да се окаже промотор или да бъде причина за развитието на вече съществуващ канцерогенен процес. Заключение от експерименталните научни изследвания е, че ЕМП от този честотен диапазон не могат да индуцират или да бъдат промотор за ракови заболявания. Съществуват и някои (единични) изследвания с положителни резултати в това отношение, но те не са потвърдени от други експерименти. Резултатите по отношение на възможния канцерогенен ефект на микровълновите лъчения са

предмет на много дискусии.

През 2011 г. Световната здравна организация, съвместно с Международната агенция по изследване на рака (IARC) в Лион, Франция, класифицира и радиочестотните електромагнитни полета като **„възможен“** канцероген за човека (**клас 2B**). Това решение е основано на по-високия риск за глиома, малигнен тип на мозъчен тумор, свързан с ползването на безжични телефони.

На основата на факта, че през 2008 г. са установени нови 237913 случая на мозъчни тумори (всички типове в комбинация) в света, от които глиомите представляват 2/3 от тях, работната група е взела решение да включи радиочестотните електромагнитни полета в категорията на факторите, за които има **„ограничени доказателства за канцерогенеза“**.

Това означава **„положителна връзка между фактора и ракови заболявания, на която може да се вярва, въпреки че няма ясни потвърждения за този факт“**.

Много учени в света в момента не приемат наличието на тези синдроми и симптоми като основа за хигиенно нормиране. Те считат, че резултатите от епидемиологичните проучвания не са достатъчно достоверни и имат голяма несигурност по отношение на прилаганите статистически подходи.

Поради това, препоръките на международните организации за създаване на гранични стойности са само на основата на топлинните ефекти от въздействието на тези ЕМП, които представляват и критериите за нормиране в ЕС и в световните стандарти.

Гранични стойности за ЕМП

В настоящия момент съществуват големи разлики между граничните стойности за ЕМП, приети и препоръчвани от различни страни и организации.

Този факт се дължи на няколко причини:

- различна интерпретация на научните данни;
- различни критерии при създаването на стандарти за защита на населението от вредни фактори;

- неяснота относно здравните последиствия свързани с експозицията от тези източници.

По-голямата част от стандартите се основават само на доказвания топлинен ефект, характерен за този честотен диапазон. Има данни от изследванията на биологичния ефект при облъчване с ЕМП в този честотен диапазон, които предполагат, че експозицията от такива източници причинява и някои нетермични ефекти, като промени в клетъчната мембрана, ефекти върху кръвно-мозъчната бариера, директно влияние върху нервната система и др.

Независимо от прилагания подход, в повечето стандарти по света се разграничават два вида гранични стойности, както това е за нискочестотния обхват: основни ограничения (**гранични стойности на експозиция – ГСЕ**) и референтни нива (**стойности за предприемане на действие – СПД**).

ГСЕ са максималните стойности на параметрите, които директно са свързани със здравния ефект. За честотния диапазон на радиочестотите и микровълните съответният доказан ефект е загряването на тъканите. При облъчване на организма с електромагнитни вълни, част от електромагнитната енергия се поглъща от тялото и се превръща в топлина. Голямо количество топлина, генерирана в тялото, може да предизвика евентуален здравен ефект. Както беше споменато по-горе, на базата на научни данни, получени от лабораторни животни и доброволци е доказано, че ако повишаването на телесната температура не надвишава 1°C , това не води до неблагоприятни ефекти върху здравето, дори в случай на хронично (продължително) облъчване. Установено е, че ако осреднената SAR в тялото не надвишава 4 W/kg , телесната температура не се повишава повече от 1°C . При нормирането към тази стойност се прилага редукиционният коефициент. В повечето стандарти – за работна среда се прилага коефициент $1:10$ и максимално допустимата стойност за SAR е $0,4\text{ W/kg}$, а за население коефициентът на хигиенен запас е $1:50$ и максимално допустимата стойност на SAR е $0,08\text{ W/kg}$.

При разработването на основни ограничения за радиочестотния и микровълновия обхват са използвани следните научни основи за раз-

личните честотни диапазони:

- Между **100 kHz и 6 GHz** се определят **основни ограничения за SAR** за защита от цялостен топлинен стрес и от локализирано крайно загряване на тъкани; в честотния обхват $100\text{ kHz} - 10\text{ MHz}$ се определят основни ограничения едновременно за плътност на индуцирания ток и за SAR;
- Между **10 GHz и 300 GHz** се установяват **основни ограничения за плътност на мощност** за предпазване от крайно загряване на тъкани на или близо до повърхността на тялото.

Тези стойности се отнасят до цялостно облъчване и са свързани с термичен стрес в цялото тяло.

Когато се използва мобилен телефон, например, се облъчват само определени части от тялото: главата, особено тази нейна част, която е в непосредствена близост до мобилния телефон, ухото, шията, също и ръката, която държи телефона. Във връзка с това частично облъчване на тялото, някои организации (ICNIRP) считат, че са приемливи по-високи стойности на SAR.

За локален термичен стрес в главата и трупата, изразени като локални стойности на SAR при облъчване на работещи, се приема ГСЕ от 10 W/kg , а за локален термичен стрес в крайниците – 20 W/kg .

За население, предложените стойности от ICNIRP са 2 W/kg за глава и 4 W/kg за ръка, осреднени върху 10 g тъкан, американската организация IEEE (IEEE C.95) дава за гранична стойност на SAR – $1,6\text{ W/kg}$, осреднена върху 1 g тъкан. Тези препоръчвани стойности се основават на експерименти с модели и пресмятания.

Поради разликите в електромагнитните свойства на тъканите в тялото е възможно различно повишаване на тяхната температура. Като резултат на отвеждането на топлината чрез циркулацията на кръвта този ефект на практика се компенсира. Съответно ще бъде постигнато топлинно равновесие, когато погълнатата топлина чрез облъчване с ЕМП и отвеждането ѝ чрез кръвната циркулация, отделянето на топлина от тялото, чрез излъчване, конвекция и изпотяване се балансира.

Измерването на погълнатата топлина е трудна задача, особено когато експозицията не е хомогенна в тялото. В този случай от основните ограничения (ГСЕ) за стойността на SAR се дефинират СПД за електрическото и магнитното поле. Ако СПД не се надвишават, то и ГСЕ са спазени, но в случай на превишаване на основните ограничения, е необходимо да се направят съответни пресмятания, които да докажат, че ГСЕ не са превишени.

У нас ГСЕ и СПД са въведени чрез Наредба № РД-07-5, ДВ бр. 95 от 2016 г.

Граничните стойности на експозиция за честоти от 100 kHz до 6 GHz са цитираните по-горе стойности на SAR за работна среда.

Освен тях, у нас са въведени и гранични стойности на експозиция по отношение на ефектите на чувствителност за експозиция с импулсно ЕМП с честоти от 100 kHz до 6 GHz – 10 mJ/kg, свързани с избягването на последици за слуха, причинени от експозиция на главата с импулсни микровълнови лъчения.

За честоти над 6 GHz (до 300 GHz), ГСЕ се дефинира чрез величината плътност на мощността и тя е ограничена на 50 W/m².

Стойностите за предприемане на действия зависят от честотата на ЕМП и в диапазона до 6 GHz са интензитетите на електрическото поле и плътността на магнитния поток. За честоти над 6 GHz, СПД е 50 W/m², т.е. същата стойност, както е ГСЕ.

Въведени са и СПД за постоянни контактни токове и за индуцирани токове в крайници, съответно за честотните обхвати 100 kHz – 10 MHz, и за 10 MHz – 110 MHz.

В нашата страна нормативният документ, въвеждащ гранични стойности (пределно допустими нива - ПДН) за население, е за определен честотен диапазон, а не за конкретни източници, както е в законодателството на други страни.

За честоти над 300 MHz, съгласно законодателството ни, се нормира величината "плътност на мощност" (S), и приетата гранична стойност за честоти до 30 GHz е 10 µW/cm² за население.

В Глава 11 са представени хигиенните норми на някои страни и организации за **плътността на мощност** на ЕМП, излъчвано **от базови станции за мобилна комуникация**, само за съответните честоти на излъчване: 900, 1800 MHz (Таблица 5). Както се вижда от представените стандарти за населени места, максимално допустимата стойност в България е достатъчно защитаваща човека, като е по-ниска от тези, предложени от ICNIRP и други организации в света.

В последните години съществува тенденция в някои страни (Италия, Швейцария, Белгия и др.) да се въвеждат много ниски максимално допустими стойности. Това вероятно не е най-добрият подход за защита на здравето на населението, тъй като често приетите гранични стойности са технически недостижими и трудно се контролират. Освен това те не са издържани по отношение на съществуващите доказателства, получени от научните изследвания, за риска от облъчването на хората. Приемането на такива хигиенни норми почти неизбежно води до забавяне на въвеждането на нови технологии и бламиране на техническия прогрес, което в съвременния живот е неоправдано и изключено. Поради тези причини хигиенните норми трябва да са добре обосновани, да се базират на доказани ефекти върху човешкото здраве, както и да са добър "компромис" между необходимостта от опазване на човешкото здраве, технологичните достижения и състоянието на комуникацията на риска с населението, разбира се и разумен компромис "риск – полза".

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вредни действия на електричеството и защита от тях, под ред. на проф. Г. Анев, „Техника“, С., 1989 г.
2. Григорьев Ю., О. Григорьев – Сотовая связь и здоровье, Москва, 2013.
3. Григорьев Ю., Н. Хорсева – Мобильная связь и здоровье детей, Рекомендации детям и родителю, изд. „Экономика“, 2014, стр. 230.

4. Израел, М., В. Зарябова, М. Иванова – Възможни здравни рискове при комуникациите в България, Социална медицина, година XI, № 4, 2003 г., с.4-7.
5. Израел М., В. Зарябова, М. Иванова, Ц. Шаламанова, П. Иванова – Риск от въздействие на електромагнитни полета в България и политика за неговото ограничаване, Българско списание за обществено здраве, издание на НЦООЗ, 2009, стр.58-72.
6. Стефанов, Б. – Радиовълни и магнитни полета (хигиенни аспекти), изд. „Медицина и физкултура“, София, 1990, стр. 144.
7. Biological effects, health consequences and standards for pulsed radiofrequency fields, IC-NIRP 11/2001.
8. Gandhi OP – State of the knowledge for electromagnetic absorbed dose in man and animals, Proc. IEEE, 1980, v. 68, p. 24-32.
9. Guy, WA - Physical Interaction processes and energy absorption, Nonionizing electromagnetic radiation and ultrasound, Proc. 27th annual meeting of NCRP, 1986, Issued 1988, p. 9-48.
10. Israel M. - Cardiovascular risk under radiofrequency electromagnetic radiation. Int. J. Hyg. Environ. Health 2006; 209: 133 - 138.
11. Israel M., K. Vangelova, D. Velkova, M. Ivanova – Cardiovascular risk under electromagnetic exposure in physiotherapy, The Environmentalist, Springer, Ref. No. DOI 10.1007/s 10669-007-9065-0, 2007, 539-543.
12. Israel M., V. Zaryabova, M. Ivanova - Electromagnetic field occupational exposure - non-thermal vs thermal effects, Electromagnetic Biology and Medicine, DOI: 10.3109/15368378.2013.776349
13. Ivanova M., V. Zaryabova, T. Shalamanova, M. Israel – EMF field levels in the working environment in radio and TV stations, The Environmentalist, Springer, Ref. No. DOI 10.1007/s 10669-007-9060-5, 2007, 563-569.
14. Hietanen M., A-M. Hamalainen, P. von Handelstadh – Electromagnetic fields in the work environment, Guidance for occupational exposure assessment, Helsinki, 2002.
15. NCRP Report No.86 – Biological effects and exposure criteria for radiofrequency electromagnetic fields, National Council on Radiation Protection and Measurements, USA, 1986.
16. Schwan H. – Biological effects of non-ionizing radiations: cellular properties and interactions, Lauriston lectures in radiation protection and measurements, Lecture No.10, National Council on Radiation Protection and Measurements, USA, 1987.

РАЗДЕЛ 4

Методи за измерване и оценка на стойностите на ЕМП. Близка и далечна зона. Методи за оценка на експозицията

Общи положения

За едно практическо измерване, в почти всички случаи е необходима следната информация:

1. Информация за източниците на полето:
 - Честота;
 - Излъчвана мощност или предварително изчислени/измерени стойности на ЕМП;
 - Модулация;
 - Времеви и пространствени характеристики на лъчението;
 - Поляризация.
2. Информация за условията на облъчване (точка на измерване, начин на попадане на лъчението върху човека, време/продължителност на облъчване).
3. Избор на подходящ метод за измерване и на съответна измервателна апаратура.
4. Определяне на едно оценъчно работно състояние на излъчващия източник, както и на променящите се параметри при работа.
5. При измерване на ЕМП от импулсни източници (като радар), както и на въртящи и сканиращи антени трябва да се осигури измерване на максималната стойност на полето. Това може да се постигне чрез изключване на автоматичното въртене и на въртящата система на излъчващата антена, и чрез насочване на антената към всяко място на измерване, или чрез прилагане на подходящо измервателно средство с

достатъчно малка RC (времето на реакция на детектора) константа на приемане.

6. Оценка на възможната опасност за измерващия персонал и за апаратурата, чрез предварителни изчисления, опит и предварителни данни от измервания при подобни излъчватели и условия на облъчване, и др. При наличие на подобна опасност, трябва да се вземат защитни мерки, като намаляване на мощността на излъчване, ограничаване на продължителността на облъчване, прилагане на мерки за персонална защита, като защитни очила и защитни облекла и други.
7. Измерване, запис, анализ, заключение (оценка на съответствието) и препоръки за намаляване на експозицията.

Основните параметри, които следва да бъдат измервани и оценявани, са описани в Глава 10. Те зависят също от това дали измерванията се извършват в близка или в далечна зона спрямо излъчвателя. Най-често това са параметрите, описани в Наредбата за защита на работещите от въздействието на ЕМП, а именно:

1. Интензитет на електрическото поле (**E**, **V/m**), в честотния обхват от 0 Hz до 300 MHz.
2. Интензитет на магнитното поле (**H**, **A/m**), в честотния обхват от 0 Hz до 6 GHz.
3. Плътност на магнитния поток (магнитна индукция) (**B**, **μT**), в честотния обхват от 0 Hz до 6 GHz.
4. Плътност на мощност (**S**, **W/m²**), в честотния обхват от 6 GHz до 300 GHz.
5. Пресмятане на еквивалентните стойности на интензитета на електрическото поле (**E**, **V/m**), на интензитета на магнитното поле (**H**, **A/m**) и на плътността на мощност за плоска вълна (**S_{eq}**, **W/m²**), в честотния обхват, от 100 kHz до 6 GHz за вълнова (далечна) зона, където вълновият импеданс е равен на вълновото съпротивление на въздушната среда.
6. Сила на контактен ток (**I_c**, **mA**) при допир до метален обект, в честотния обхват от 0 Hz до 110 MHz.

7. Сила на индуцирания ток през крайниците на човека (**I_L**, **mA**), в честотния обхват от 10 до 110 MHz.

Избор на измервателни уреди

Измервателната система (апарат, уред) на параметрите на полето най-общо съдържа следните компоненти:

1. **Измервателна сонда (сензор, датчик)**, напр. дипол, рамка или рупорна антена, от което зависи кой физически параметър се измерва адекватно от уреда.

Измервателните сонди могат да притежават чувствителност към честоти извън определения в паспорта на уреда честотен обхват, което може да доведе до резонансни явления. Те могат също да реагират на ниски интензитети извън обхвата на измерваните полета, поради неефективно екраниране. Сондата може да бъде конструктивно разработена да измерва електрическо поле, магнитно поле или мощност. От това зависи кой параметър от дефинираните в чл. 7 физически параметри ще бъде измерван адекватно от измервателния уред.

2. **Детектор, напр. диод, болометър** (термистор), термоелемент, което рефлектира както върху честотната характеристика на измервателния уред, така и върху възможностите за външно влияние върху самия измерител.

При ниски нива на интензитетите на полето, диодният детектор осигурява преобразуван сигнал, пропорционален на квадрата на стойността на полето. За високи интензитети, измерваният сигнал е пропорционален на стойността на полето. Ако присъстват няколко полета с различни честоти едновременно или ако полетата са импулсни, това може да доведе до неточни измервания.

Полупроводниците са чувствителни към светлината и инфрачервеното лъчение (фотоелектричен ефект) и към температурни промени (дифузен потенциал), което може да доведе до изместване на нулата и до промяна на чувствителността и следователно да е източник на грешка.

Болометричните детектори (най-общо термис-

тори) са чувствителни към температурни промени, които могат да доведат до изместване на нулата, и отново да е източник на грешка.

Термоелементните детектори са относително нечувствителни към промените на околната температура, но лесно се разрушават от сравнително краткотрайни или незначителни претоварвания (дори ако уредът е изключен), което се взема предвид, вкл. и когато се измерват импулсни полета.

Особено важен показател за детектора е честотната му характеристика на детектиране, която определя неточностите на уреда спрямо измерваното ЕМП в определения в паспорта му честотен обхват.

3. Входна верига за измерените параметри, напр. кабели, вълноводи, оптичен кабел, основа за подбор на метод за измерване и за намаляване на външните въздействия при измерването.

Екраниращото затихване на коаксиалните кабели трябва да е подходящо.

Металните свързващи линии за пренасяне на измерените сигнали могат да доведат до големи изкривявания на полето. Съпротивителните кабели се прилагат с цел избягване на изкривяванията, и при това, апаратурата може да се използва над няколко MHz, в зависимост от съпротивлението на кабела. Допълнителни грешки при измерването могат да се получат като резултат от термоелектрически потенциал и нарастване на електростатичния заряд, или в резултат на триене при физическо движение на кабелите, или като резултат от изменение на позицията на кабела, когато е поставен във външно електростатично поле.

Оптичният кабел дава възможности за дистанционно управление на измерването, както и не позволява външното ЕМП да изкривява полученения резултат от влиянието му върху входните вериги на измервателния уред.

4. Дисплей (цифров или аналогов, или комбиниран), който отчита измерените стойности и позволява проследяването на промените в стойностите на ЕМП във времето.

Дисплеят трябва да е защитен към смущения от честотни съставлящи извън честотния обхват

на измерване при поставянето му в електромагнитното поле. Цифровият дисплей е подходящ за наблюдение, но стрелковият тип измервателен уред дава възможност за оценка на бързите промени и тенденциите на изменение на стойностите на ЕМП в пространството. При това най-подходящ е комбинираният дисплей, съдържащ цифрова и „стрелкова“ информация за ЕМП във времето.

Изборът на измервателни уреди зависи от честотата, времето на реакция, ограничения за максималните стойности и поляризация в полето. Обхватът на работа на уреда трябва да покрива честотния обхват на полето от излъчващия източник. Ако излъчваното поле съдържа много честоти, а съответните допустими стойности са еднакви или могат да бъдат пресмятани чрез методите за сумиране, може да се използва широколентова измервателна сонда. Всяка компонента на полето трябва да се измерва поотделно в честотния обхват от 0 Hz до 6 GHz чрез използване на честотно неселективен или селективен уред, като селективният уред се прилага в случаите, когато съответните норми/допустими стойности за измерването на ЕМП са честотно зависими или не е възможно сумирането за неселективна оценка в честотния обхват, в който се измерва.

Средната или средноквадратичната (rms) стойност се измерват в период, кратен на времето на реакция на измервателния уред. Сумирането по време се извършва за 6 min периоди от време, освен в случаите, когато стойностите на ЕМП не се променят с времето, като при това те могат да се измерват по „точков“ метод или за време от 1,5 min.

Подборът на измервателния уред се прави в зависимост и от това в коя зона (близка или далечна) спрямо излъчвателя се извършват измерванията. Във всяка зона се използват измервателни уреди с компоненти, пригодени за измерване на съответните показатели на ЕМП, подходящи за получаване на реални данни. Така например, уред с електрическа сонда измерва адекватно само стойностите на електрическото поле. Всички останали параметри (интензитет на магнитно поле или плътност на мощност), които уредът позволява да бъ-

дат наблюдавани на дисплея, са еквивалентни (преизчислени) стойности на ЕМП за случай, когато измерването се извършва в далечно поле (вълнова зона) и когато в пространството се разпространява плоска електромагнитна вълна. По същата причина не се измерват компонентите на полето в близката зона с уреди, пригодени и калибрани за измерване само във вълновата (далечната) зона.

Ако полето се променя бавно или периодично, средната стойност в големи периоди от време (секунди или минути) може да се изчисли или оцени електрически. В случай на бърза промяна на полето, както е при сканираща радарна антена, излъчваща кратки импулси, времето на реакция на детектора (RC константа) трябва да бъде по-малко от 1 μ s, за да се получи реално измерване на максималната стойност на полето.

Когато се измерват полета, излъчвани от сканиращи радарни антени, прагът за върховата стойност на измервателната сонда трябва да се знае, за да се защити сондата от изгаряне.

Изотропните сонди, се използват в случай, че поляризацията на полето от източника и антената не се знае точно. Във всички останали случаи е за предпочитане прилагането на анизотропни сонди, които се ориентират в зависимост от посоката на силовите линии на електрическото или магнитното поле и дават допълнителна информация.

Само при измерване при честоти над 300 MHz превръщането на интензитетите на компонентите на полето в плътност на мощност чрез пресмятане във въздушно-еквивалентна среда е напълно адекватно. Това означава, че измерените и еквивалентните стойности съвпадат.

При измерване при честоти под 300 MHz с апарат, калибриран само по стойности на плътност на мощност, интензитетите на електрическото и/или магнитното поле, преизчислени от плътността на мощност могат да се определят само като еквивалентни стойности за плоска електромагнитна вълна, а не като реални измерени стойности. Във всички случаи на измерване на отделните компоненти на ЕМП, измервателният уред трябва да бъде

калибриран за съответната измервана компонента на полето при честоти, при които се извършва самото измерване или в измервания честотен обхват, със съответна интерполация.

В случаи на галваничен или капацитивен контакт на човек към земя или възможен контакт към метални структури или обекти, контактният и индуцираният в тялото токове трябва да се измерват с уреди, отчитащи ефективната стойност на тока. Под 30 MHz е възможно да се измерят контактните токове през резистор R, еквивалентен на импеданса на човека:

$$R = (-45 \log_{10} F_{\text{MHz}} + 370) \Omega$$

Измереният ток трябва да се осредни в съответствие с ГСЕ.

Използваният измервателен уред трябва да се калибрира отново от акредитирана лаборатория след подходящ период от време, но не по-голям от 5 години.

Обща процедура на измерване

Преди и след всяко измерване, работата на уреда трябва да бъде проверена чрез използване на втори уред, изчислени резултати или други известни измервания при подобни излъчватели.

Полетата и токовете трябва да бъдат измервани при типични условия на облъчване. Ако съществуват няколко различни условия, трябва да се избере условието, определящо „най-лошия случай“. Измерванията трябва да започнат на безопасно разстояние от източника, с цел безопасност на измерващия персонал и защита на измервателния уред. Това разстояние се установява на основата на предварително изчислена стойност на полето или на основата на продължителна практика. След като се определи нивото на лъчение чрез измерванията, уредът може да се придвижи бавно към източника (към мястото на измерване).

Плътността на мощност или интензитетите на полето трябва да се измерват на типични позиции, като глава, гърди, таз и други, в зависимост от изискванията на конкретни методи или характеристики на разпространение, така че да има възможност да се оценяват стой-

ностите на ЕМП чрез ГСЕ или СПД. Измервания трябва да се правят също в няколко точки в пространството, заето от други хора, като по този начин се получават данни за адекватно описание на разпределението на полето. Ако цялото тяло на човека се облъчва в ЕМП, резултатите от измерването трябва да се осреднят върху заетия от човека обем.

При измервания в радиочестотния обхват (над 100 kHz) е необходимо чрез сканиране около мястото на измерване да се търсят т.нар. "горещи петна", където е възможно усилване на полето поради интерференчни и други явления на сумиране и смесване на полетата.

За да се получат реални данни от измервания и да се минимизират ефектите от директните и индиректните влияния, сондата и източникът трябва винаги да са разделени на определено минимално разстояние, зависещо от размера на сондата и честотата на излъчване.

За да се избегнат допълнителни неопределености при измерването, трябва да се поддържа минималното разстояние между измерващия полето сензор и какъвто и да е проводящ обект, намиращ се в близост. Трябва да се поддържа минимално разстояние, най-малко равно на двойния размер на диаметъра на измерващия полето сензор, за симетрични електрически сонди, малки в сравнение с дължината на вълната.

Когато се сканира измервания обем, броят и местоположението на точките на измерване трябва да се избират по такъв начин, че разпределението на полето да може да се опише подходящо. Когато измерваните стойности се приближават до граничната стойност, точките на измерване трябва да се избират достатъчно близки, така че да се определи дали граничните стойности се надвишават.

Когато измерванията се правят със сонди с известна диаграма на приемане, като при рупорните рефлекторни антени, интензитетът на полето не може да се определи от единично измерване.

Проводящите обекти с размер, близък до дължината на вълната, като тръбопроводи, съобщителни системи, железопътни

релси, въздушни захранващи линии (електропроводи), разположени в близост до зоната на близко поле на източниците, могат да доведат до неочаквано високи интензитети на полето. Може да се окаже необходимо да се вземе предвид този ефект при избора на точката на измерване.

За по-нататъшна оценка на измерваните стойности, може да се окаже необходимо да се прави запис, включващ всички необходими детайли, с цел повторимост на измерванията.

При измерване на контактни и индуцирани токове, това трябва да се прави за всеки проводящ метален обект, с който човек може да бъде в контакт и който е разположен във високо интензивно радиочестотно поле. За измерванията трябва да се използва електрическа верига, имаща импеданс, равен на този на човешкото тяло.

Осредняването в 6-минутни периоди при измерване на импулсни ЕМП се прави, като се оценява средната мощност на излъчване, чрез параметрите на импулсите.

Оценката на радиочестотни ЕМП с форми на вълните, далеч различаващи се от синусоидалните, се извършва, като те се привеждат към ефективни синусоидални полета, след което последните се осредняват.

Измерване на интензитетите на електрическото поле

Използват се диполни антени, най-често симетрични вибратори. За постигане на линейност в широк честотен диапазон е необходимо размерите на дипола да бъдат много по-малки в сравнение с дължината на най-късата вълна, която се измерва. Такава антена не изкривява ЕП и с известно приближение може да се приеме, че се намира в свободно пространство при измерване в затворени помещения. Симетричен вибратор може да се използва при честоти чак до 300 MHz. Този тип антени са зависими от поляризацията и направлението на векторите на ЕП, поради което е необходимо при измерване да се насочват по посока на силовите линии до намирането на максимума на излъчването.

Измерване на интензитетите на магнитното поле

За измерване интензитетите на магнитната компонента на ЕМП се използват рамкови антени. Колкото е по-малка индуктивността на рамковата антена (по-малък брой навивки), толкова собствената ѝ резонансна честота е по-висока и тя може да бъде използвана за измервания в широк честотен диапазон. При условие, че резонансната честота на антената е много над най-високата измервана честота, индуцираното напрежение в рамката зависи линейно от честотата. С помощта на магнитни рамкови антени могат да се измерват магнитни полета с честоти до няколко MHz.

Напрежението на рамковата антена също е зависимо от направлението на векторите на магнитното поле, поради което при измерването равнината на рамката се насочва перпендикулярно на магнитните силови линии (по максимално показание на уреда).

Измерване на плътността на мощността

За оценка на плътността на мощността се прилагат сонди както за електрическо, така и за магнитно поле, ако измерванията се извършват в така наречената „далечна зона“, т.е. там, където са спазени изискванията за разпространение на плоска електромагнитна вълна в пространството. За измерване на плътността на мощност могат да се прилагат и рупорни антени със съответен измервателен уред – измерител на мощност. При случаи на измерване в така наречената „близка зона“, където не са спазени изискванията за излъчване на плоска електромагнитна вълна, задължително се измерват и двете компоненти на полето – електрическата и магнитната, но не и плътността на мощност.

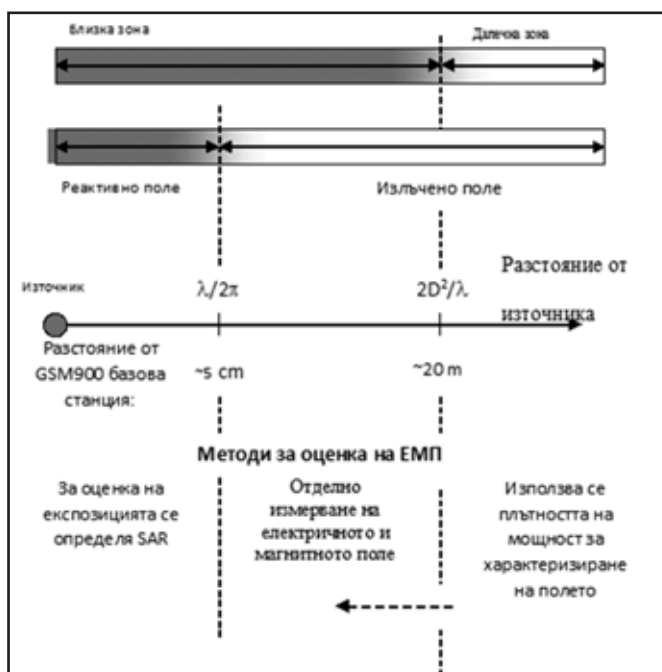
Методи и процедури при измерване на радиочестотни и микровълнови електромагнитни полета

Близка и далечна зона

Оценката на електромагнитното поле изисква различни методи на измерване, зависещи от разстоянието до източника, както и от неговите геометрични размери. Това се налага поради съществуването на основно две (плюс една междинна) зони около излъчвателите, изискващи различни подходи за оценка на излъченото електромагнитно поле, както и за измерване на различните параметри на полето.

На фигура 17 са представени схематично трите зони: **реактивно близко поле**, **излъчено близко поле** (междинна зона) и (излъчено) **далечно поле**, както и съответните начини за оценка на електромагнитното поле, създадено от антена. На фигурата D е размер на източника; λ - дължина на вълната; SAR - специфичната поглъната мощност. Примерът е за GSM антена с честота на излъчване 900 MHz.

Фиг. 17. Близка и далечна зона в свободно пространство



Източник: COST 244 bis Short Term Mission on Base Station Exposure. Mobile telecommunication base stations - exposure to electromagnetic fields, Ulf Bergqvist, November 2000

На достатъчно голямо разстояние от източника, в така наречената далечна зона, електричната и магнитна компонента на полето имат характер на сферична вълна. Зависимостта на амплитудата на полето е обратно пропорционална на разстоянието, а фазата е линейна функция на разстоянието. Стойностите на векторите на електричното и магнитното поле са пропорционални и съвпадат по фаза. По тези причини в тази зона е достатъчно да се оценява само единият параметър. Далечната зона може да се очаква на разстояние по-голямо от $2D^2/\lambda$, където D е размерът на антената, а λ – дължината на вълната. Ако имаме дължина на вълната 33 cm за 900 MHz и 17 cm за 1800 MHz, и размер на антената 1,8 m, то границата на тази зона за една антена за мобилна комуникация се очаква на разстояние 20 – 40 m.

Ако честотата на излъчване е по-ниска, например 300 kHz, то дължината на вълната е 1000 m и близката зона се простира на огромно разстояние от него – около 170 m.

Тъй като електричното и магнитното поле в далечна зона са в проста зависимост, плътността на мощност на електромагнитното поле може да бъде получена чрез измерване на електричната компонента на полето. За целта се прилага формулата $S = E^2/377$, където E е електричното поле във V/m, а S е плътността на мощност, във W/m².

Измерванията (както и изчисленията) в близост до антените, представляват доста сложен, дори невъзможен проблем, поради факта, че в този случай условията на излъчване са за **близко поле**. Тук съотношението и връзките между електричната и магнитна компонента са сложни и това налага поотделна оценка на всяка от компонентите на полето. Ако в близката зона бъде направена апроксимация и бъдат приети допусканията за далечна зона, това може да доведе до “надценяване” на експозицията до пъти спрямо вярната стойност. Например измерване на 10 m от антена за мобилна комуникация, използвайки приближенията за изчисляване в далечно поле, ще доведе до няколко процента по-високи стойности, докато на 1 m те ще бъдат 10-20 пъти по-високи спрямо реалната стойност на полето.

В **реактивното близко поле**, на разстояние по-малко от дължината на вълната (т.е. на <10 cm от източник за мобилна комуникация), съществува динамично взаимодействие между източника и човешкото тяло. Външното поле не е добър индикатор за оценка на реалната експозиция. Затова в тези случаи се използват други методи за определяне на погълнатата електромагнитна енергия от тялото.

Селективни и неселективни методи на измерване

За измерване на електромагнитното поле могат да бъдат използвани честотно селективен и неселективен метод.

Широколентовите измервания (неселективните) интегрират отчетените стойности на полето в определен честотен диапазон, докато **честотно селективните измервания** се правят за избрана тясна част от спектъра. Оценката на експозицията за широк честотен диапазон при селективния метод се извършва поотделно за всяка конкретна честота, чрез промяна на селектираната честота (ръчно или автоматично).

Честотно селективни измервания се извършват, когато е необходима прецизна и точна оценка на електромагнитното поле, както и специализирана информация за честотните ленти на излъчването. Във всички случаи, когато трябва да се оцени приносът на ЕМП за различните честоти, преди сумирането на стойностите на полето, е задължително използването на спектрален анализатор. При спектралните анализатори, много важен параметър, който трябва да се определи внимателно преди измерването, е резолюцията на измервателния уред, тъй като тя може да повлияе силно на резултатите от измерванията. Резолюцията винаги трябва да бъде по-малка от реалната ширина на честотната лента на измервания сигнал.

Широколентовите измервания са подходящи при извършване на мониторинг, както и за една “по-груба” оценка. В много ситуации може да се установи дали стойностите на електромагнитното поле са по-ниски или по-високи от хигиенните норми. Предимствата на широколентовите измерватели са,

че са компактни, по-евтини и лесни за прилагане. Широколентовите измервания се препоръчват винаги при инспекторски (контролни) измервания за целите на оценката на въздействието на ЕМП върху човека, тъй като при подобни измервания се получава информация за сумарното поле от всички източници на мястото, където е човекът.

Чувствителност на измервателната апаратура

Чувствителността на измервателната апаратура е един много важен въпрос, който трябва да бъде съобразен в зависимост от целта на измерването.

При измервания, които се извършват с цел оценка на стойностите на полето съгласно изискванията на съответното законодателство, чувствителността при оценката на електричното поле най-общо, трябва да бъде под 1 V/m, и съответно 3 mA/m, за магнитната компонента на полето. За други цели, например прецизните измервания с цел сравняване на стойностите на електромагнитното поле, създавано от GSM базова станция, на различни места около нея, изискват значително по-висока чувствителност с оглед на това, че на определено разстояние от източника се откриват много ниски стойности на полето.

Неопределеност при измерванията

Неопределеността при измерването се комбинира от следните съставки:

1. от еталонирането/калибровката на измервателния уред;
2. от средноквадратичните грешки на уредите;
3. други неопределености, характеризиращи уреда: тип сонда, изотропност/анизотропност, поляризация, измерване в близка/далечна зона, радиочестотни изкривявания, температурен и други дрейфове, близост на честотния обхват на измерване до резонанса на приемната част, линейност на честотната характеристика, нелинейност на амплитудно-честотния отклик, отговор към неадекватно приемане на хармоници или на други полета, за които сондата не е пригодена или калибрирана.

Тук ще дадем по-подробно описание на възможните грешки, които са изброени в т.3 по-горе.

Една от възможните грешки при измерване на интензитетите или плътността на мощност на ЕМП е тази от нелинейност на честотната характеристика на приемната част на уреда (σ_1). При измерителите на електрическо поле тази грешка може да се оцени експериментално. За магнитното поле тази неопределеност може да се пресметне, предвид поставените условия за линейна зависимост на приемната част U_R от честотата ω . Когато се измерва плътността на мощност на ЕМП, честотната зависимост на приемната част се определя при калибрирането на уреда и зависимостта от честотата влиза в общата неопределеност на измервателния уред, описана от производителя.

Друга неопределеност е тази от приемане на хармонични на основната измервана честота (σ_2). В повечето случаи хармоничните имат с 30 dB по-малка мощност от тази на основната честота, но въпреки това те могат да повишат грешката на измерване, особено ако тези хармонични са с честоти, близки до резонансната честота на приемната система. За целта производителят трябва да се съобрази да използва електронна измервателна система, която не измерва ЕМП с честоти над обхвата на измерване, като по този начин хармоничните остават извън този обхват.

При измерване на интензитета на една от компонентите на ЕМП се получава грешка и поради факта, че приемната сонда има различна от нула ефективна дължина за приемане на другата компонента (σ_3). Например, от електрическото поле се индуцира електродвижещо напрежение $U_e = I_{eff} \cdot E$ в магнитната сонда. За кръгла приемна рамка σ_3 има линейна зависимост от размера на рамката и достига 10% при съотношение на размера на сондата спрямо дължината на вълната 1:5.

Грешката σ_4 от собствения резонанс на магнитната антена може да се определи от еквивалентната схема на рамковата антена. Зависимостта на σ_4 от честотата на ЕМП е хиперболична и достига 10% при съотношение на измерваната честота спрямо резонансната 1:4.

Общата неопределеност на измервателния уред трябва да бъде не по-голяма от $\pm 30\%$. Допълнителната неопределеност от прилагането на конкретен метод за измерване трябва да бъде минимизирана чрез прилагане на определени по-горе процедури, в зависимост от конкретните измервателен уред и място на измерване.

При измерване на интензитетите на магнитното поле се допуска голяма грешка от т.нар. „антенен ефект“ (σ_5). Тя се проявява при несиметричност на рамковата антена, както и при наличие на капацитет на приемната антена спрямо земя (например наличие на заземени метални повърхности в района на измерване). При това, през намотките на рамката протича допълнителен ток, обусловен от антенния ефект. Неопределеността се дефинира като отношение на полуразликите на две показания на измерваното магнитно поле H_1 и H_2 при завъртане на рамката на 180° , съответстващи на максимуми на приемане $(H_1 - H_2)/2$, към средната стойност на тези показания $(H_1 + H_2)/2$, умножени по 100, в %.

Друга неопределеност се проявява поради зависимостта на приемните сонди от направлението на векторите на ЕМП (σ_6). При изотропните антени, тази грешка също съществува и тя трябва да бъде зададена от производителя – неопределеност от анизотропност.

При измерване в близост до заземени метални повърхности се допуска сериозна грешка (σ_7). Тази неопределеност се оценява експериментално, като е установено, че при разстояние до металната повърхност от порядъка на двойния линеен размер на сондата, грешката е вече повече от 15%. Това поставя изискване в повечето стандарти за измерване сондите да не се приближават до метални повърхности на по-малко от 20 см. Това разстояние е малко за големи сонди, поради експоненциалното нарастване на грешката при приближаване до метала.

Накрая, не трябва да се забравя неопределеността от калибровката (σ_8), на самия измервателен уред (σ_9).

Общата неопределеност е сумата от всички описани по-горе грешки, които се допускат

както от производителя на уредите, така и от измерващия ЕМП, поради липса на компетентност или опит.

Не могат да бъдат оценени грешките, които внасят хората в помещението (всеки човек има своя функция на приемане в условия на радиочестотни ЕМП), измервателния уред и други отразяващи или поглъщащи повърхности в помещението.

Сумирането на ЕМП от различни източници е описано в самите стандарти и то се различава от това дали сумираме основните ограничения или референтните стойности, тъй като се сумират различни параметри в различните честотни обхвати.

Методи за оценка на експозицията

При измерванията и хигиенната оценка на ЕМП **в работната среда** се използват следните методи:

а) точков метод: правят се единични измервания на работните места и на местата на пребиваване на човек.

Точковият метод на измерване може да се прилага само в случаите, когато стойностите на ЕМП не се изменят в течение на работната смяна, а също и когато операторът работи в условия на непроменящи се стойности на полето. Това е частен случай, който се среща много рядко в практиката.

Въпреки това точковият метод се прилага често, но с дозиметричен подход (допълнителна обработка), изискваща определяне на експозицията и на енергетичните характеристики на въздействието.

б) дозиметричен метод:

Методите за дозиметричен контрол на електромагнитните лъчения в работната среда обхващат следното:

- измерване на интензитетите или плътностите на мощност на електромагнитното поле с оценка на експозицията, последвано от точно описание на технологичния процес;
- индивидуална дозиметрия в течение на работната смяна или оценка на енергетичното натоварване на организма;

- определяне на реалното облъчване в течение на работната смяна, в извънработно време, а също и за минали периоди.

Измерванията могат да бъдат точкови, с директна дозиметрия, с допълнителен хронометраж или индивидуални.

Оценката на **експозицията при работа в условия на ЕМП** (или на енергетичното натоварване на организма) може да се извършва по следните способи:

1. Оценка на енергетичното натоварване на организма

Определят се величините:

$$W_E = E^2 \cdot T, (V/m)^2 \cdot h$$

$$W_H = H^2 \cdot T, (A/m)^2 \cdot h$$

$$W_S = S \cdot T, (\mu W/cm^2) \cdot h.$$

Тук W_E , W_H и W_S са енергетичните параметри на облъчването с енергия на електричното (E) поле, магнитното поле (H) или плътност на мощност (S). Времето на облъчване е отбелязано с T.

Сумарното натоварване на организма от облъчване с ЕМП в различни честотни обхвати, където оценката се извършва по стойности на електрично поле и на плътност на мощност, се определя от :

$$W = \sum_i E_i^2 \cdot T_i + \sum_j S_j \cdot T_j,$$

където E_i , S_j са интензитетите/плътностите на мощност на електромагнитното лъчение от i-тия излъчвател, T_i е съответното време на облъчване. Получаването на енергетичните параметри става с точкови измервания или директна дозиметрия.

2. Времето на престой (работа) в условия на електромагнитно поле се определя по няколко способа:

а. **измерване (хронометраж)** или експертна оценка на всяко T_i

б. **изчислителни методи:**

А. **Средна стойност в 8-часов работен ден:**

$$T = 480 \cdot \frac{E_{\text{средно}} - E_{\text{норма}}}{E_{\text{max}} - E_{\text{норма}}}, \min$$

Тук $E_{\text{норма}}$ е праговата стойност, взета от хигиенния стандарт, E_{max} и $E_{\text{ср.}}$ са съответно максималната и средната стойност на интензитета на полето.

Б. **Средно претеглена стойност по време:**

$$TWA = E_{\text{норма}} = \frac{\sum E_i \cdot t_i}{T}$$

Тук TWA е средната “претеглена” величина по време, E_i и T_i са съответно интензитетът и времето на облъчване на i-тото работно място (при i- тия процес).

3. Метод на сценария

Методът позволява при еднотипно протичане на работния ден да се определи сумарното облъчване на човека с точкови измервания и чрез експертно определяне на времето на престой. Експертната оценка може да бъде извършена както върху изискванията към технологичния процес, така и чрез наблюдение и описание на процеса, извършено от експерти.

При оценка на ЕМП в населените места се ползват основно два метода:

а) **точков метод**

Той изисква измервания в различни пунктове в населените места, определени предварително чрез пресмятане на стойностите на ЕМП и оценка на хигиенно-защитната зона около излъчвателя. Този метод се прилага у нас само за комуникационни източници на ЕМП, тъй като само за тях в настоящия момент има хигиенни норми.

б) **мониторинг**

Този метод може да бъде изпълнен чрез два вида мониторинг:

- Продължително измерване на стойностите на ЕМП на *определени места на пребиваване на населението*, с отчитане на времето на измерване (в този случай мониторингова станция се поставя на мястото на измерване);
- Продължително измерване на стойностите на ЕМП с мониторингово устройство, монтирано на човека (*индивидуална експозиция*).

И двата метода се прилагат основно за 24 h, като в първия случай се прави оценка по средни, максимални стойности, както и по върхови стойности (пикове) в определени часове и минути от денонощието, докато при втория случай се прави сумарна индивидуална оценка на електромагнитната експозиция.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Вредни въздействия на електрическия ток, под ред. На проф. Г. Анев, изд. „Техника“, 1988 г.
2. Chadwik P. and P. Gaysek – EMF Dosimetry Handbook Project, Final Report, Health Protection Agency, UK, 2011.
3. COST 244 bis Short Term Mission on Base Station Exposure. Mobile telecommunication base stations - exposure to electromagnetic fields, Ulf Bergqvist, November 2000
4. Electronic Communication Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunication Administrations (CEPT), Measuring non-ionizing electromagnetic radiation 99 kHz – 300 GHz), ECC Recommendation (02)04, 2003.
5. Human exposure to electromagnetic fields. Low frequency (0 Hz to 10 kHz), ENV 50166-1, 1995.
6. Human exposure to electromagnetic fields. Radiofrequency (10 kHz to 300 GHz), ENV 50166-2, 1995.
7. Klauenberg J., D. Miklavcic (Eds) - Raadiofrequency Radiation Dosimetry, Kluwer Academy Publishers, p. 565-570.
8. Pola elektromagnetyczne, pod red. Haliny Aniolczyk, Institut Medycyny Pracy, Lodz, 2000, pp. 295.
9. Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook, Edit. William Roach, Fifth edition, 2009.

РАЗДЕЛ 5

Съответствие между основните ограничения и референтните стойности. Математически методи за връзка между граничните стойности на експозиция (ГСЕ) и стойностите за предприемане на действие (СПД)

Оценка на специфичната погълната мощност (СПМ)

Дозиметрия е термин означаващ “оценка на дозата” или количеството погълната електромагнитна енергия (или енергия за единица време – мощност) от биологичния обект, който е изложен на експозиция от електромагнитно поле.

Индуцираното електромагнитно поле в тъканта е основната причина за появата на биологичен ефект, независимо от механизма на въздействие. Следователно ролята на дозиметрията е да се оцени погълнатото ЕМП в тялото чрез съответни дозиметрични методи и величини.

В честотния диапазон 10 MHz до 10 GHz дозиметричната величина, използвана за оценка на погълнатото електромагнитно поле в тъканите, е специфичната погълната мощност (SAR-СПМ). Тя се определя, като времева производна на енергията δW , абсорбирана или разсеяна в единица маса δm , съдържаща се в елемент с обем δV и плътност ρ :

$$SAR = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta W}{\delta m} \right) = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta W}{\rho \delta V} \right) \quad (1)$$

SAR се изразява във W/kg.

Както беше описано подробно по-горе, SAR зависи не само от параметрите на падащата ЕМВ, но също така и от електричните и геометричните характеристики на биологичния обект, от наличието в близост на други отразяващи и поглъщащи обекти. Индуцираното поле в тъканта е функция на геометрията на тялото, характеристиките на тъканите и условията на експозиция.

SAR е дозиметрична величина, свързана с биологичните ефекти, породени от повишаването на температурата в тъканите. Термичният ефект е доминиращият установен механизъм на въздействие при експозиция с електромагнитно поле от радиочестотния диапазон. На този етап (повечето) действащи норми и стандарти за предпазване на човек от електромагнитна експозиция са базирани именно на термичния ефект. Повишаването на телесната температура е пряко свързано със специфичната абсорбирана мощност от цялото тяло или част от него, когато продължителността на експозицията е повече от топлинната време-константа на тялото (6 min). Следователно дозиметричната оценка при експозиция с ЕМП от радиочестотния диапазон се основава на определяне на SAR в тялото, по-специално за честоти от 100 kHz до 6 GHz.

Според ICNIRP, интензитетът на индуцираното електрично поле, също може да бъде използван като дозиметрична единица, особено когато се разглеждат нетермични ефекти. В настоящия момент, Директива 2013/35/ЕК въвежда като гранични стойности на експозиция за честоти от 1 Hz до 10 MHz плътността на електрическия ток в биологичната тъкан, получен в резултат от индуцираното поле вътре в организма.

Величината SAR може да се запише и по следния начин:

$$SAR = \frac{\sigma |E_{rms}|^2}{\rho}, \quad (2)$$

където σ е електричната проводимост на тъканта ($S.m^{-1}$), а ρ – плътността на тъканта ($kg.m^{-3}$), $(E_{rms})^2$ – квадрата на интензи-

тета на електричното поле по трите координатни оси x , y , z . Той се определя като квадратична сума на интензитетите, определени по трите координатни оси:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}, \quad (3)$$

където E_x , E_y и E_z са стойностите на квадратите на компонентите на електричното поле по x , y и z .

При излагане на човека на електромагнитна експозиция е много важно да се знае какво е разпределението на полето вътре в тялото, особено при провеждане на изследвания, свързани с възможните здравни ефекти при облъчване с ЕМП.

Както беше отбелязано, SAR в биологичната система може да се определи чрез индуцираните електрични (или магнитни) полета, абсорбираната енергия, загубите на мощността и съответното им разпределение при проникване в тъканите. Всички тези величини са функции на характеристиките на източника на ЕМП, на честотата (дължината на вълната) на лъчението, както и на конфигурацията и размерите на биологичния обект. Тук трябва да се отбележи, че при една и съща експозиция, различните по размер, плътност и консистенция (плътност) биологични обекти поглъщат различно количество електромагнитна енергия. Освен това, взаимодействието на радиочестотна енергия с биологичните системи зависи и от поляризацията на електричното поле, особено за продълговати обекти, които имат голяма дълга ос спрямо ширината на обекта.

От уравнение (2) може да се види, че величината SAR директно е свързана с проводимостта на тъканите. Проводимостта на тъкани с високо водно съдържание, като мускул, кръв, кожа, е по-голяма в сравнение с тази на тъкани с ниско водно съдържание – мазнини, кости. Това също е една от причините за нехомогенното поглъщане на електромагнитното поле от тялото.

В таблица 10 са представени стойностите на проводимостта на някои видове тъкани за две честоти от микровълновия диапазон.

Таблица 10. Проводимост на биологични тъкани

Проводимост на тъканите σ , S/m		
ВИД ТЪКАН	900 MHz	1800 MHz
Мускул	0,94	1,3
Кожа (мокра)	0,85	1,2
Кръв	1,50	2,0
Сиво мозъчно вещество	0,94	1,4
Бяло мозъчно вещество	0,59	0,92
Мазнина	0,11	0,19
Кост	0,14	0,28
Жлези	0,86	1,30

Според уравнение (2), 1 W/kg в обекта се предизвиква от облъчване с ЕМП с интензитет на електричното поле приблизително 30 V/m, при честотите за мобилна комуникация. Електрическата проводимост на мозъчната тъкан е около 1 S/m (таблица 10), а плътността на тъканта може да се приеме за 1 g/cm³ - плътността на водата, което е добро приближение за повечето видове тъкани с голямо съдържание на вода.

Дозиметрични методи за оценка. Методи за измерване на специфичната погълната енергия и мощност. Математични методи за дозиметрична оценка на специфичната погълната енергия при електромагнитно въздействие

Дозиметрията играе важна роля при оценка на риска за човек, подложен на електромагнитна експозиция. Поради това е необходимо внимателно да се изберат подходящите дозиметрични методи и величини за всеки конкретен случай на експозиция.

Съществуват огромен брой литературни източници по отношение на методите за определяне на погълнатата електромагнитна мощност. Основно те могат да бъдат разгледани в две направления – теоретична и експериментална дозиметрия. Всеки подход съответно, има своите предимства и недостатъци. Важно е да бъдат избрани подходящи дозиметрични техники за всеки конкретен случай, а резултатите, получени по един от методите, да могат да бъдат проверени и сравнени с резултати от друг метод.

Експерименталната дозиметрия се основа на директни измервания в човешки модели, т.нар. *фантоми*, експериментални животни или тъкани.

При дозиметричните измервания се използват експериментални техники, при които за съжаление има доста ограничения и нерешени проблеми. Най-често SAR се определя чрез измерване на индуцираното електрическо поле, чрез малки електрически сонди, поставени във фантома. Възможен е и методът, основан на измерване на покачването на температурата в тъканите, в резултат на електромагнитна експозиция, но обикновено ограниченията при него са свързани с калибрирането на измервателната сонда.

За оценката на здравния риск е необходимо да се оцени SAR или плътността на индуцирания ток в човешкото тяло, изложено на експозиция от високочестотно ЕМП. Много е трудно да се измери интензитета на електрическото поле в тъканите или покачването на температурата на тялото чрез използване на неинвазивни методи. По тази причина се налага употребата на “заместител” на човешкото тяло или т.нар. *“фантом”*. Фантомите, които се използват при този тип измервания, представляват модели на човешкото тяло, симулиращи анатомията и електрическите характеристики на човешка глава и торс. Различни видове материали са разработени за направата на фантоми, които са описани в международните стандарти за дозиметрия.

Фантомите могат да бъдат хомогенни и нехомогенни. Нехомогенните фантоми са съставени от полутвърд материал, докато при хомогенните се използват водни разтвори.

Масово използваните фантоми са изработени от течност, гел или желе, тъй като тези материали се приготвят лесно и имат необходимите електрически характеристики. Предимството на фантомите, съставени от течност е, че позволяват свобода на движение на измервателната сонда. Един от недостатъците на тези материали обаче, е лошата стабилност на електрическите им свойства, поради изпаряването на водата. Въпреки че са разработени и нехомогенни фантоми с добра стабилност, то те са трудно приложими поради високата

им цена, както и изискват специфични и специализирани процедури за приложение. В случая с нехомогенните фантоми, измерванията се извършват, като сондата се поставя във фиксирани отвори, които могат да изкривят електрическото поле. Теоретични изчисления показват, че максималната SAR в хомогенни фантоми е равна или един път и половина по-висока от максималната SAR в нехомогенни фантоми (неопределеност над 50%).

Тъй като електрическите свойства зависят от вида на тъканите и органите при определена честота, то фантомът трябва да бъде произведен за всяко определено условие на експозиция. Тъкани с високо водно съдържание, като мускулите, могат лесно да бъдат симулирани с течност, а такива с ниско съдържание на вода, като например мазнини и кости, обикновено се реализират с твърди или полутвърди материали. Разработени са рецепти за фантоми, които са оптимизирани за всякакви тъкани и те симулират електрическите свойства на тъканите в диапазона от няколко стотин MHz до няколко GHz.

Въпреки сериозното развитие на различните техники за създаване на фантоми, е трудно да се постигне добра точност (с електрически свойства с малки отклонения, например 5% от тези на реалните биологични тъкани) при изработването на фантом за дозиметрия в широк честотен диапазон. Оптимизирани са различни рецепти за фантоми за постигане на определени електрически характеристики при дадена честота, които се използват за точни измервания, като например изпитвания за съответствие.

Въпреки че са проведени многобройни проучвания за разработване на фантоми, които да могат да се използват в широк честотен диапазон, съществуват някои трудности за изработването и поддържането на такива фантоми:

- Трудно е да се коригират едновременно реалната и имагинерната част на комплексната диелектрична проникваемост на фантома за определени стойности;

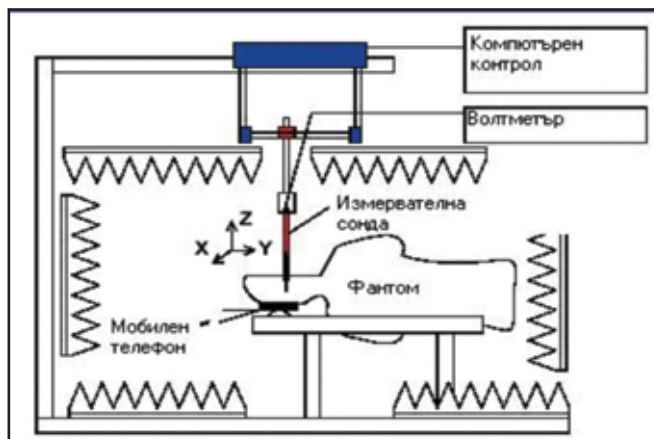
- Неопределеността при измерване на електрическите свойства чрез достъпните в търговската мрежа системи понякога е значителна;
- Температурните промени и изпарението на водата също се отразяват на електрическите свойства на материала, от който е изработен фантомът.

Много задълбочени изследвания се извършват в настоящия момент, с цел да бъдат преодолени тези трудности.

Тъй като е много сложно да се създаде нехомогенна структура, повечето изследвания се извършват с хомогенни фантоми на глава или на цяло тяло, като се използват материали, описани по-горе - течност или желе. Проведени са и някои изследвания с "целотелесни" нехомогенни фантоми. Разработен е фантом на цяло тяло, като е използван твърд материал за симулация на костната тъкан и течност, както и за тъкани с високо съдържание на вода, като мускул. Използвани са и нехомогенни фантоми на главата за оценка на SAR при употреба на мобилен телефон.

Измерването на SAR е много сложен въпрос. На Фигура 18 е показана постановка за измерване на SAR. Стойностите на SAR са определени чрез измерване на интензитета на електрическото поле в реалистичен хомогенен фантом с малка подвижна изотропна сонда. Движението на сондата е контролирано от компютър.

Фиг. 18. Постановка за измерване на SAR.



Източник: Puranen et al., 1997

Най-добрата възможност за определяне на SAR е да се ползват изчисления, които да бъдат потвърдени и чрез измерване.

Ранните дозиметрични изчисления са фокусирани главно върху диелектрични сфери, цилиндри и сфероидни тела, които са считани за опростен модел на човешка глава или тяло. При хомогенни структури на тези модели е възможен аналитичен подход при условие на експозиция с плоска електромагнитна вълна. Въпреки че този подход не предоставя детайлна дозиметрична информация за реалното човешко тяло, то той представя качествен анализ по отношение на поглъщението на ЕМП в цялото тяло.

От края на 70-те години на миналия век, с постиженията в моделирането на човешкото тяло, числовите методи добиват все по-голяма популярност.

Един от най-използваните е **Методът на моментите (МoM)**. По-рано този метод е прилаган интензивно за пресмятане на разпределението на SAR в т.нар. блокови модели, т.е. в случай, че човешкото тяло се разделя на блокове, като на всеки блок се приписват съответните диелектрични характеристики, за да се изгради модел на анатомична структура. Интензитетите на електрическото поле в тялото се пресмятат чрез решаване на интегрално уравнение за електрическото поле, описано с уравненията на Максвел.

Бърза Фурие трансформация (FFT) или **Спрегнат градиентен метод (CG)** са по-нататъшното развитие на Метода на моментите чрез прилагане на интерактивни алгоритми, като FFT и CG при решението на система от линейни уравнения, свързани с Метода на моментите.

Множествена мултиполна процедура (ММР) е обобщената множествена техника, която се използва при аналитични решения на уравненията на полето, имащо мултипол в една точка на пространството. Като резултат, тази процедура е изключително подходяща за симулация на разсейване на ЕМП в обекти със загуби в междинното и/или близко поле.

Импедансен метод - този метод има успех в областта на квази статистическите приближения (< 40 MHz) и е доказан като много ефективен. По този метод тялото или част от тялото се моделират в триизмерна мрежа на комплексни импеданси.

Методът на крайните разлики във времевата област (the Finite-Difference Time-Domain FDTD) е по-нататъшно развитие на класическия метод на моментите за пресмятане в зоната на близко поле. Процедурата за пресмятане на SAR често се счита за най-резултатна и като такава тя с най-големи възможности.

От 1990 година, FDTD методът или методът на крайните разлики във времевата област е най-често използваният метод за оценка на SAR. Той представлява числена техника за анализ, използван за моделиране в електродинамиката (намиране на приблизителни решения на свързана система от диференциални уравнения). Той се основава на дискретизацията на уравненията на Максвел или т.нар. „Yee cell“ подход (Yee 1966). Компютърната скала при прилагане на метода FDTD е пропорционална на броя на клетките, което позволява да се използват човешки модели с милиметрова резолюция, състоящи се от няколко милиона клетки. Добрите блокови модели могат да се използват за електромагнитна симулация над 1 GHz.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys. Med. Biol.* 41: 2271–2293 1996
2. C95.1 IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to electromagnetic Fields, 3 kHz – 300 GHz, IEEE Standards Coordinating Committee 28, 2006.
3. ENV 50166-2: Human exposure to electromagnetic fields. High-frequency (10 kHz to 300 GHz)
4. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300 GHz). *Health Phys* 74(4):494-522; 1998;
5. IEC 62209-1-2005. Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices – Human models, instrumentation, and procedures – Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz). IEC; 2005
6. Exposure metrics and dosimetry for EMF epidemiology, Proceedings of International Workshop, NRPB, UK., Editors: A. McKinley, M. Repacholi, 1999.
7. Jokela K, Leszczynski D, Paile W, Salomaa S, Puranen L, Hyysalo P. Radiation safety of handheld mobile phones and base stations. STUK-A161, Helsinki 1998
8. Hombach V, Meier K, Burkhardt M, Kühn E, Kuster N. The dependence of EM absorption upon human head modeling at 900 MHz. *IEEE Trans. on Microwave Theor. Tech.* 1996; 44(10): 1865–1873
9. Kobayashi T, Nojima T, Yamada K, Uebayashi S. Dry phantom composed of ceramics and its application to SAR estimation. *IEEE Trans Microwave Theory and Tech* 41:136-140; 1993
10. Lazzi G, Gandhi Om P. Models of the human head for numerical calculations of the SAR distributions due to wireless telephones. XX-Vth General Assembly, International Union of Radio science, Lille, August 28–September 5, 1996
11. Lin JC. Dosimetric comparison between different quantities for limiting exposure in the RF band: rationale and implications for guidelines. *Health Phys* 92:547-553; 2007a
12. Nikawa Y, Chino M, Kikuchi K. Soft and dry phantom modeling material using silicone rubber with carbon fiber. *IEEE Trans Microwave Theory and Tech* 44:1949-1953; 1996
13. Okano Y, Ito K, Ida I, Takahashi M. The SAR evaluation method by a combination of thermographic
14. experiments and biological tissue-equivalent phantoms. *IEEE Trans Microwave Theory and Tech*
15. 48:2094-2103; 2000
16. Puranen et al. - Puranen L, Hyysalo P, Jokela K. Matkapuhelimien aiheuttaman lämpöabsorption määrittäminen päässä. COST 244 projektin loppuraportti, Säteilyturvakeskus, 1997.
17. Standard C95.3-2002. IEEE recommended practice for measurements and computations of radiofrequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100 kHz-300 GHz. IEEE; 2002.
18. Taflove. Application of the finite-difference time-domain method to sinusoidal steady state electromagnetic penetration problems. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility.* 22 (3): 191–202; 1980.
19. Watanabe S, Taki MT, Nojima T, Fukiwara O. Characteristics of the SAR distributions in a head exposed to electromagnetic fields radiated by a hand-held portable radio. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1996;44: 1874–1882.
20. Yee K. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation.* 14 (3): 302–307; 1966.

РАЗДЕЛ 6

Оптични полихроматични лъчения. Класификация. Източници. Биологично и вредно въздействие върху очите и кожата на човека. Механизми на биологичния ефект. Методи и средства за дозиметрична оценка. Норми и стандарти. Оценка на експозицията и риска

Оптичните лъчения са част от електромагнитния спектър с дължини на вълната от 0,1 μm до 1 mm. Оптичният диапазон се разделя на три области: ултравиолетова (UV), видима и инфрачервена (IR) област. От гледна точка на оценката на риска, свързан с облъчване с оптични лъчения, се прилага фотобиологичното разделение на CIE (Commission Internationale de l'Eclairage):

ИНТЕРВАЛ	ДЪЛЖИНА НА ВЪЛНАТА
- UVA	$\lambda = 100 \div 280 \text{ nm}$
- UVB	$\lambda = 280 \div 315 \text{ nm}$
- UVC	$\lambda = 315 \div 400 \text{ nm}$
видима област	$\lambda = 400 \div 760 \text{ nm}$
- IRA	$\lambda = 760 \div 1400 \text{ nm}$
- IRB	$\lambda = 1400 \div 3000 \text{ nm}$
- IRC	$\lambda = 3000 \text{ nm} \div 1 \text{ mm}$

Въпреки приетото фотобиологично разделяне на спектъра на оптичните лъчения, границите между отделните спектрални диапазони не може да бъдат дефинирани толкова прецизно. Например границата между UV и видимия диапазон – при дължина на вълната под 400 nm се регистрира зрително усещане при източници с голяма яркост. Аналогично на границата между видимия и инфрачервения диапазон се установява зрително усещане на дължина на вълната над 760 nm.

Най-разпространените източници на оптични лъчения са нагретите тела до висока температура – например Слънцето, лампите с нажежаема спирала и др. Повишаването на температурата на нагретите тела води до промени в спектъра им на излъчване - от червено, жълто, до синьо и бяло при по-високи температури. За обяснение на спектъра на излъчване на нагрети тела Густав Кирхоф през 1862 г. въвежда идеализиран модел - абсолютно черно тяло, който представлява тяло в термодинамично равновесие, което поглъща електромагнитно лъчение в целия спектрален диапазон и не отразява. Най-близко до модела за абсолютно черно тяло е Слънцето. Опитите да се обясни спектъра на излъчване на абсолютно черно тяло са в основата на квантовата физика. През 1900 г. Макс Планк предполага, че светлината (както и другите електромагнитни вълни) се излъчва на порции с определена енергия, наричани фотони или кванти.

Температура в Келвини	Цвят
до 1000	Червен
1000—1500	Оранжев
1500—2000	Жълт
2000—4000	Бледожълт
4000—5500	Жълтобял
5500—7000	Бял
7000—9000	Синкавобял
9000—15000	Синьобял
15000— ∞	Син

Съществуват *естествени и изкуствени източници на оптични лъчения.*

Слънцето е основният естествен източник на оптично лъчение на Земята. Факторите, които влияят на нивата на оптичното лъчение, достигащо до земната повърхност, както и спектралният му състав са: дължина на вълната на лъчението; зенитно отстояние на Слънцето, което зависи от географската ширина, ден от годината, време на деня; спектър на слънчевото лъчение, попадащо върху горния слой на атмосферата; дебелина на озоновия слой и вертикално разпределение на озона; молекулно поглъщане и разсейване (включително от локални газове замърсители); аерозолно поглъщане и разсейване (включително антропогенни аерозоли); поглъщане, разсейване и отражение от облачната покривка; отражателни характеристики на земната повърхност (албедо); засенчване от различни обекти; надморска височина.

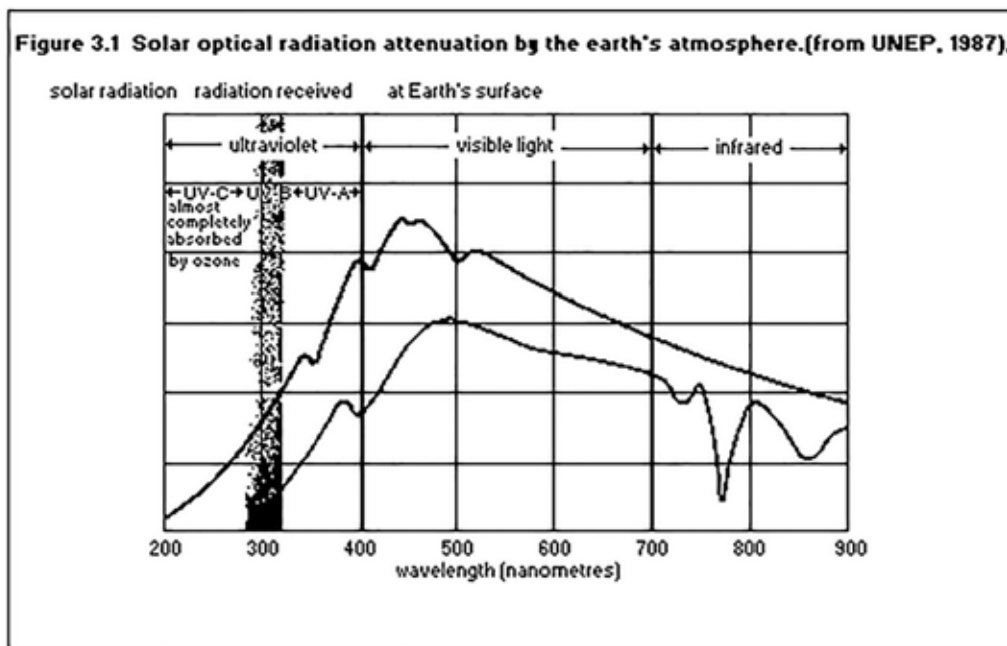
В Таблица 11 е представено спектралното разпределение на слънчевото лъчение преди преминаването му през земната атмосфера (ЕНС 160, WHO).

Таблица 11. Спектрално разпределение на слънчевото лъчение преди преминаването му през земната атмосфера

Диапазон дължини на вълната	Плътност на мощността на лъчението W/m^2	Процент от общото лъчение
УВ-С	6,4	0,5
УВ-В	21,1	1,5
УВ-А	85,7	6,3
Общо УВ	113,2	8,3
Видимо и ИЧ-лъчение	1254	91,7

На фиг. 19 е представен спектърът на Слънцето, достигащ до земната атмосфера, както и този, достигащ до земната повърхност.

Фиг. 19. Спектър на Слънцето при земната атмосфера и при земната повърхност



Източник: ЕНС 160 на СЗО

Изкуствените източници от своя страна се делят на две подгрупи:

- конвенционални източници на полихроматично лъчение (нелазерни) – излъчват в определен спектрален диапазон в цялото пространство около източника, ако не са използвани екрани и специфична оптика;
- лазерни източници, които излъчват на една дължина на вълната (монохроматично лъчение) – те излъчват в изключително тесен сноп (силно насочено лъчение) и лъчението е кохерентно.

Разглеждането на тези два типа източници се прави независимо поради спецификата им и характерните свойства на разпространението на оптичното лъчение в работните помещения.

От гледна точка на физиката, изкуствените източници на оптични полихроматични лъчения могат да се класифицират по следните характеристики: вид на спектъра, метод на възбуждане на светенето, временни характеристики, вид на светещия елемент. Съгласно документи на Световната здравна организация, както и изследвания на учени в тази област, изкуствените източници на оптично лъчение могат да се групират в следните категории на базата на принципа на генериране на лъчението:

Източници с нажежаема спира

Това са първите източници на светлина, създадени от човека и използвани в по-широк мащаб. Действието им се основава на способността на някои нагreti материали да излъчват високоенергийни фотони в широк диапазон енергии. Този тип източници се използва главно за осветление.

Кварцови халогенни лампи (или волфрамови халогенни) - намират приложение за специализирано осветление, т.е. за специални задачи, изискващи интензивно локално осветление и в апаратура като ендоскопи. Кварцовият кожух позволява излъчване на ултравиолетово лъчение, което при някои обстоятелства може да създава риск за здравето.

Лампи с газов разряд

Електрическото възбуждане на газ или пари е типичен механизъм за генериране на оптично лъчение. При протичане на електрически ток

през газ или смес от газове се получава йонизация на газа. Емисията се дължи на преходи на електроните в атомите на материала от ниско към високо енергетично състояние (поглъщане и възбуждане), последвано от преход от високото към ниското енергетично състояние с излъчване. Емисията на $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ при електрически разряд в живачни пари при ниско налягане (5 – 10 mmHg) се използва като източник за възбуждане при флуоресцентните лампи с ниско налягане. Емисията на $\lambda = 589 \text{ nm}$ и $\lambda = 589,6 \text{ nm}$ при електрически разряд в натриеви пари при ниско налягане се използва за специализирано осветление и в спектроскопията и за калибровъчни източници. С увеличаване на налягането до няколко атмосфери емисионните линии се разширяват докато формират непрекъснат спектър (континуум). Живачните лампи с ниско налягане често се използват за дезинфекция на повърхности и въздух в помещения. Подобен тип източници излъчват лъчение с $\lambda = 254 \text{ nm}$ (УВ-С). Кварцовият кожух на някои лампи може също да пропуска лъчение с дължина на вълната 185 nm. Този тип лампи излъчват минимални нива видимо и инфрачервено лъчение.

Живачните лампи със средно налягане и метал-халогенните лампи се използват за осветление и в медицината, включително за фототерапия на кожни болести. Емисиите на разряда са във видимия диапазон (синьо, жълто, зелено) и голяма част в ултравиолетовия диапазон. Добавянето на метал-халогени към живачните пари води до увеличаване на емисията в ултравиолетовия диапазон.

Ксенонови лампи/слънчеви симулатори – Спектърът на излъчване на ксеноновите лампи до голяма степен съвпада със спектъра на Слънцето за дължини на вълната по-къси от 760 nm инфрачервено лъчение. Това позволява използването им за слънчеви симулатори, например, при изследване на пациенти с кожни болести, предизвикани или утежнени от слънчевото лъчение. Те излъчват УВ-А, УВ-В и УВ-С лъчение до нива, които могат да създават риск за здравето, ако се използват неправилно. Ксеноновите лампи се използват също за ендоскопска апаратура.

Флуоресцентни лампи – най-честото приложение на разрядни лампи с ниско налягане. Различните видове луминофори и кожуси на лампите, определят спектъра на излъчване. В зависимост от спектъра на излъчване се различават няколко типа флуоресцентни лампи:

Флуоресцентни тръби за осветление – съществуват различни разновидности, мощности, различни луминофори и цветови температури, което определя различни спектри на излъчване – „студена бяла“, „топла бяла“, както и специфични цветове. Основното приложение на този тип източници е за осветление.

Лампи тип „флуоресцентно слънце“ (излъчващи в UVB) този тип излъчватели съдържа луминофор, който излъчва повече от половината си светлинен добив на дължина на вълната по-малка от 340 nm, в диапазона от 275 до 380 nm, като максимумът е при 313 nm. Поради тази причина този източник е много ефективен за придобиване на тен, изгаряне на кожата, а при изследвания върху животни е доказано, че може да доведе до рак на кожата. Този тип източници се използва за фототерапия на кожни заболявания и като източници за изкуствено придобиване на тен в солариумите.

Флуоресцентни лампи тип „черна светлина“ – много близки по конструкция до лампите тип „флуоресцентно слънце“, с изключение на използвания луминофор, който излъчва в областта от 300 до 410 nm, с максимум при 350-365 nm. Този тип източници обикновено излъчва по-малко от 0,1% от лъчението в UV област с дължина на вълната < 320 nm. Те намират своето основно приложение при предизвикване на флуоресценция при бои и мастила. В последните години този тип източници съвместно с фотоактивни лекарства (фотосенсибилизатори) се използват при фототерапията на кожни заболявания като псориазис – PUVA терапия. Тези лампи се използват най-често в солариумите за придобиване на тен. Подобни източници се използват и в промишлеността и търговията за предизвикване на флуоресценция, а също и в увеселителни заведения. При печатане и фотокопиране се използват 3 типа лампи, излъчващи в UVA диапазона: за печатане - с основна емисия около 360 nm и 420 nm; и за фотокопиране с основна емисия в зелената област на видимия диапазон.

Терапията на хипербилирубинемия (жълтеница) при новородени се осъществява с облъчване на новородените с лампи, излъчващи в диапазона от 400 до 470 nm.

Електрически разряди

Заваръчни дъги – излъчват изключително високи нива видимо и ултравиолетово лъчение, които зависят от големината на тока при заваряване, екраниращия газ и метала, който се заварява.

Въглеродни дъги – при тях основният източник на лъчение е върхът на нагорещен въгленов електрод. Намират приложение за прожектори и специализирано осветление, като излъчват главно във видимия диапазон на оптичния спектър.

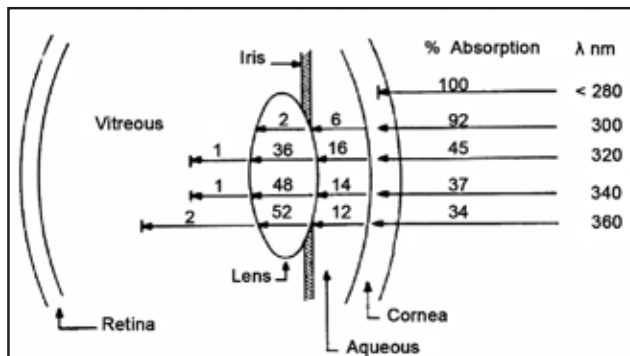
Биологично действие на оптичните лъчения

Облъчването на човешкото тяло със слънчева светлина или светлина от изкуствени източници на оптично лъчение води, в зависимост от условията на облъчване и качествения състав на лъчението, до общи реакции в обмяната на веществата, нервната система и кръвообращението. При проучване на биологичното действие на оптичната част на електромагнитния спектър трябва да се имат предвид два основни фактора:

а) Дълбочината на проникване на лъчението в тъканта на организма. С живата тъкан взаимодействие има само погълнатата част от лъчението. Лъченията от оптичния диапазон на електромагнитния спектър имат малка проникваща способност - те навлизат през кожата на дълбочина от 0,2 mm за UV лъчение, до не повече от 10 mm за IR област. Единственият път, по който оптичното лъчение навлиза по-дълбоко, е окото на човека. Въпреки това, се предполага, че няма функция в организма, която да не се влияе от оптичните лъчения в околната среда.

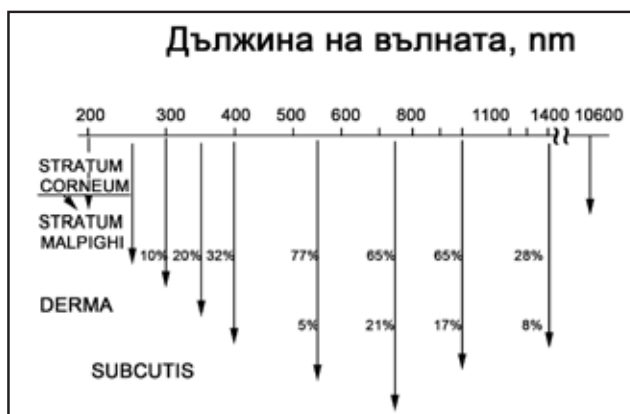
На фиг. 20 и фиг. 21 са представени съответно спектралната чувствителност на човешкото око и дълбочината на проникване на оптичното лъчение в кожата. Вижда се, че проникването на лъчение в окото и кожата е спектрално зависимо.

Фиг. 20. Спектрална чувствителност на човешкото око



Източник: D. Sliney, M. Worlbarsh, 1980

Фиг. 21. Спектрално пропускане на човешката кожа



Източник: D. Sliney, M. Worlbarsh, 1980

б) Механизмите на взаимодействие на оптичното лъчение с биологичната тъкан.

Съществуват два основни механизма на взаимодействие:

- **фотохимичен** - при него погълнатото лъчение се превръща в енергия на биологичната молекула, която преминава в състояние, което е химически реактивно. За фотохимичната реакция се изисква достатъчно енергия на единичния фотон, което определя фотохимичното взаимодействие като типично за УВ и видимо лъчение;
- **термичен** - тук основна роля играе загряването на тъканите; този механизъм на взаимодействие е типичен за видимия и ИЧ диапазон.

Да разгледаме спецификата на двата механизма на взаимодействие, които определят различните подходи при определяне на граничните стойности на експозиция, в зависимост от спектъра на излъчване на източника и облъчваната част от тялото.

Фотохимичен механизъм на взаимодействие

При фотохимичния механизъм на взаимодействие се спазва принципът на реципрочността във фотобиологията или законът на Bunsen&Roscoe, съгласно който ефектът от взаимодействие зависи само от дозата (резултат от плътността на мощност на лъчението и продължителността на експозицията). Това означава, че продължителността на експозицията, необходима за предизвикване на даден биологичен ефект, се променя реципрочно с плътността на мощността на падащото лъчение. Така например фотохимично увреждане на ретината със „синя светлина“ (фоторетинопатия) може да се получи или при наблюдение на много ярка светлина за кратък период от време, или при по-дълготрайно наблюдение на светлина с по-малка яркост.

Термичен механизъм на взаимодействие

За разлика от фотохимичния механизъм на взаимодействие, при термичния механизъм няма реципрочност между плътността на мощност и продължителността на експозицията. Термичното увреждане зависи в голяма степен от топлопроводността на облъчената тъкан. Необходимо е лъчение с голяма интензивност, за да предизвика коагулация на тъканта. При по-малка интензивност на лъчението, околната тъкан провежда топлината далеч от експонираната тъкан. Праговете за остро термично увреждане на роговицата и ретината, получени при изследване на експериментални животни, са потвърдени и за човешкото око, като данните са получени при изследване на лица, претърпели инцидент с

изгаряне със светкавица. Обикновено за термично изгаряне е необходимо температурата да е поне 45°C. За предизвикване на термично изгаряне от експозиции с по-малка продължителност е необходима по-висока температура: около 55°C за 10 s или 69°C за 1 ms.

При малки образи, формирани върху ретината и продължителност на експозицията по-голяма от 10 ms, се получава равновесно състояние на температурата по време на експозицията. Поради експоненциалната зависимост на степента на термичното увреждане от температурата, фазата на охлаждане след прекратяване на импулса не оказва влияние върху критичната температура. Това означава, че критичната температура е пониска за по-големи изображения, тъй като за тях пикът на температурата се достига на по-късен етап във времето. Плътността на мощност на лъчението, необходима за достигане на тези температури, зависи от температурата на околната тъкан и размера на облъченото петно (формираното изображение). Поради по-ефективното охлаждане на малки петна, увреждането при малки петна върху ретината изисква по-високи плътности на мощност, отколкото при големи петна.

Особен тип въздействие върху живи организми, характерен за УВ лъчение, е **бактерицидният ефект**. Основава се на действието на лъчението върху нуклеопротеините на клетъчното ядро на бактериите и микроорганизмите, което при мощен източник на УВ лъчение ги убива за $0,5 \div 10$ s. Бактерицидният ефект се наблюдава и при видимо лъчение, но е по-слабо изразен.

По отношение на ефектите на оптичните лъчения върху живи организми се дефинира понятието *“активен спектър”*, което определя дължините на вълните, които с най-голяма вероятност предизвикват даден биологичен ефект.

Биологичните ефекти от действието на оптичните лъчения се разглеждат в две направления: *благоприятни ефекти* и ефекти на увреждане (*неблагоприятни*).

От своя страна неблагоприятните ефекти

от оптичните лъчения са две групи: *остри* (акутни или първични) и *хронични* (вторични). Острите ефекти се получават непосредствено след експозицията или в рамките на няколко часа след нея – до 48 ч., а хроничните – след многократни експозиции в течение на времето.

Други възможни вредни ефекти могат да се получат като резултат от системно въздействие върху човешкото тяло, включително в резултат от промените на имунната система.

Ултравиолетово лъчение

Тканите са значително по-чувствителни към ултравиолетовото лъчение отколкото към другите части от оптичния диапазон, тъй като при тези дължини на вълната единичният фотон има достатъчно енергия, за да предизвика преход на електроните във възбудено състояние и да предизвика фотохимични реакции, включващи протеините, клетъчните ядра или други чувствителни съставлящи на клетката. Лъчението може да предизвика малък брой удари на фотони на специфични места (или създаване на малко количество фотопродукти), за да се разруши нормалното функциониране на клетката и като краен ефект то да доведе до клетъчна смърт.

Клиничните ефекти от облъчване с УВ лъчение могат да бъдат или *детерминистични*, при които големината на ефектите е свързана с експозицията и е възможна прагова доза, или *стохастични*, при които вероятността за ефекта е свързана с експозицията и няма прагова доза.

Благоприятните ефекти от УВ лъчение са свързани с образуването на високоактивни вещества в организма: витамин D, хистамини и други; бактерицидното му действие; повишаването на естествената резистентност на организма; стимулирането на обмяната на веществата, клетъчния растеж, регенерацията на кожата и други процеси.

Вредните ефекти от УВ лъчение засягат главно очите и кожата. При това **острите ефекти** са:

1. Върху очите - електроофталмия, фотокератит (с максимум на активния спектър при 270 nm), фотоконюнктивит (260 nm), блефарит;
2. Върху кожата - еритема (250 nm и 297 nm), изгаряния, фототоксичност и фотоалергия. Последните два ефекта могат да се разглеждат като резултат от взаимодействието на УВ лъчение с различни видове химични вещества (фотосенсибилизатори).

Изследванията на биологичните ефекти от ултравиолетовите лъчения показват индуциране и утежняване на някои кожни болести като lupus erythematosus и pemphigus (автоимунни заболявания), както и индуциране на фоточувствителност на кожата с често използвани поглъщащи UV лъчение лекарства и локално прилагани химикали. Фоточувствителността (фотосенсибилизацията) се предизвиква от голям брой вещества и нараства като проблем особено със създаването на нови продукти. Досега в списъка на фотосенсибилизаторите са включени над 1000 вещества, включително растения, плодове и зеленчуци, лекарства, козметични средства и много други и списъкът продължава да расте.

Съществуват значителни научни доказателства при животински модели и хора за супресивния ефект на ултравиолетовото лъчение върху имунната система. Доказано е, че този ефект води до повишена податливост на някои инфекциозни болести (вирусни, бактериални, паразитни и гъбични), а също и в отслабване на ефективността на използвани ваксини.

Хронични вредни ефекти от УВ лъчение са:

1. Върху очите - ултравиолетова катаракта (фотохимична), спиноцелуларен карцином на очните припадъци, хронична форма на електроофталмия, хроничен блефароконюнктивит.

Предполага се също, че съществува връзка между птеригиума на окото и облъчването с ултравиолетово лъчение. УВ лъчение е сред рисковите фактори за дегенерация на маку-

лата, която води до забележимо влошаване на зрението.

2. Върху кожата - кератози, преждевременно стареене на кожата и рак на кожата. Основните типове рак, свързвани с облъчването с УВ лъчение, са базално-клетъчен карцином (базалиом) (BSC), спиноцелуларен карцином (SCC) и меланом.

Резултатите от изследванията на канцерогенните ефекти дават основание на IARC да включи слънчевото лъчение, UVA, UVB и UVC, а също и използването на UV апарати за изкуствено придобиване на тен като канцероген от група 1 – доказан канцероген.

Друг по-малко виден ефект от УВ лъчение е удебеляване (хиперплазия) на външните слоеве на кожата, за да се отслаби проникването на UV лъчение към по-дълбоките слоеве на кожата. Този ефект, както и еритемата, са признак на увреждане на кожата.

Видима светлина

Действието на видимата област на спектъра не се свежда само до зрително усещане. Благоприятно действие на видимата светлина, освен че е единственият дразнител на окото, предизвикващ зрително възприятие, включва и влиянието ѝ върху имунната и сърдечно-съдовата система, възбуждането и потискането на централната нервна система.

За видимия диапазон на оптичното лъчение роговицата, лещата и вътрешните среди на очната ябълка са прозрачни и поради това се получават изгаряния на ретината, тъй като погълнатата енергия се превръща в топлина. В най-късовълновата част на видимия диапазон рискът от изгаряне на ретината се означава като „*риск от синя светлина*“.

Острите вредни ефекти са: изгаряне на ретината, временно „ослепяване“, нарушение на цветното и нощното виждане, промени в централното виждане, изгаряне на кожата.

Хроничните вредни ефекти от видимата светлина се основават на влиянието ѝ върху имунната, сърдечносъдовата и централната нервна система.

Инфракчервено лъчение

Благоприятно въздействие на най-дълговълновата част на оптичния диапазон- ИЧ-област, включва повишаване на естествената резистентност на организма, болкоуспокояващо и противовъзпалително действие. Освен това ИЧ лъчение може да усилва биологичния отговор на организма при въздействие върху тъканите с други агенти (може да се разглежда и неблагоприятния аспект на такова комбинирано въздействие).

Острите вредни ефекти от ИЧ област на спектъра са:

1. Върху очите - електроофталмия, конюнктивити, изгаряне на роговицата, изгаряне на ретината (ИЧ-А);
2. Върху кожата - еритема и изгаряне на кожата.

Хронични ефекти от ИЧ-лъчи (особено при източници като пещи и др. силно нагряти тела) са катаракта, стареене на кожата, заболяване на сърдечносъдовата система (миокардиодистрофия, атеросклеротична кардиосклероза, исхемична болест на сърцето), нервната система (неврози, неврастении, полиневрити), промени в обмяната на веществата и терморегулацията. Действието на ИЧ лъчи най-често е комбинирано с неблагоприятния ефект на прегряващ микроклимат.

Разглежданите дотук биологични ефекти от облъчване с оптични лъчения са достатъчно доказателство за необходимостта от хигиенно нормиране на оптичните лъчения. При това трябва да се има предвид видът на източника, възможните биологични ефекти и параметрите на лъчението.

Гранични стойности на експозиция.

Принципи на защита

Все още липсват достатъчно данни за резултати от хроничното (в продължение на месеци и години) въздействие на оптични лъчения върху човека при ниски енергийни стойности на лъчението (под пределно допустимите), както и не могат да се определят прагове за

стохастичните ефекти. Поради това граничните стойности за оптични лъчения се въвеждат на базата на остри ефекти върху очите и кожата, като се счита, че спазването им ще предотврати възникването на хронични ефекти на по-късен етап.

Съществуват три групи подходи при въвеждане на гранични стойности за оптичните лъчения:

- **спектрален** - най-често приет метод за определяне на гранични стойности за оптичните лъчения. Включва въвеждане на спектрално зависими прагове на облъчване при дадена относителна спектрална ефективност за всяка дължина на вълната, определена по активните спектри за конкретни биологични ефекти. При такъв подход е възможно определяне на допустимо време на престой в близост до източниците в рамките на работното време, така че да се избегнат вредни ефекти. От този тип са стандартите, препоръчвани от СЗО, ICNIRP, ЕС и др.

Този подход е приет в нашата страна с въвеждане на директива 2006/25/ЕС в националното законодателство (Наредба №5 от юни 2010 г.).

- **интегрален** - въвеждат се единични стойности за параметри на лъчението за всеки спектрален поддиапазон. Често се отнасят само за очи или само за кожа на облъчените лица. В някои случаи нормите са групирани по зададени интервали на експозиция и няма възможност за определяне на допустимо време на престой. Друг проблем при този тип стандарти е, че с въвеждането на единична стойност за даден спектрален диапазон или поддиапазон се подценява или надценява експозицията. От този тип са стандартите на някои страни, напр. Русия.

- **за конкретни видове източници** - главно отделни стандарти, като този за солариуми. Такива стандарти имат и страни, които имат и общ нормативен документ за защита от оптични лъчения. Те са насочени към най-често прилаганите източници както в медицинската практика, така

и от населението. Международната електротехническа комисия е издала серия от стандарти с изискванията за безопасност на различни типове лампи, без оглед на тяхното приложение.

По-долу са описани граничните стойности за експозиция (ГСЕ) за оптични полихроматични лъчения, които са приети от Международната организация по защита от нейонизиращи лъчения (ICNIRP) и които се възприемат от страните-членки на ЕС и други страни в света като национални законодателства:

В ултравиолетовия диапазон на оптичния спектър граничните стойности за експозиция са дадени в претеглена ефективна енергетична доза - H_{eff} (J.m^{-2}) за целия ултравиолетов диапазон и непретеглена, изчислена енергетична доза за UVA диапазона - H_{UVA} (J.m^{-2}).

В диапазона с риск от фотохимично увреждане на ретината - риск „синя светлина“ - от 300 nm до 700 nm, граничните стойности на експозиция са дадени в две величини:

- ефективна плътност на мощност в единица пространствен ъгъл (претеглена спрямо тегловната функция за синя светлина) L_b ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$) при ъглов размер на източника $\geq 11 \text{ mrad}$ за продължителност на облъчването съответно $t \geq 10\,000 \text{ s}$ и $t < 10000 \text{ s}$;
- ефективна плътност на мощност (претеглена спрямо тегловната функция за синя светлина $B(\lambda)$) при много малки източници с ъглов размер $< 11 \text{ mrad}$, за продължителност на облъчването съответно $t \geq 10\,000 \text{ s}$ и $t < 10000 \text{ s}$.

В диапазона с риск от термично увреждане на ретината (видим и ИЧ-А диапазон) - „термичен“ риск - от 380 nm до 1400 nm граничните стойности на експозиция са дадени във величината:

- ефективна плътност на мощност в единица пространствен ъгъл (претеглена спрямо тегловната функция за риск за термично увреждане $R(\lambda)$) - L_R ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$). В този ди-

апазон при продължителност на експозицията $t > 10 \text{ s}$ и $t < 10 \mu\text{s}$ при изчисляване на ГСЕ не се отчита времето на експозиция, а при продължителност $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$, то се отразява в изчисленията. ГСЕ отчитат също и ъгловия размер на източника.

За да се отчете възможността за термично увреждане на ретината, за ИЧ-А диапазон (780 nm - 1400 nm) са дадени отделни гранични стойности за експозиция в ефективна плътност на мощност в единица пространствен ъгъл (претеглена спрямо тегловната функция за риск за термично увреждане $R(\lambda)$) - L_R ($\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$). В този диапазон при изчисляване на ГСЕ не се включва времето на експозиция при продължителност на експозицията $t > 10 \text{ s}$ и $t < 10 \mu\text{s}$, а при продължителност $10 \mu\text{s} \leq t \leq 10 \text{ s}$, то се отразява в изчисленията. ГСЕ отчитат също и ъгловия размер на източника.

В ИЧ-А и ИЧ-В диапазон на оптичния спектър (780 nm - 3000 nm) са дадени гранични стойности за експозиция в непретеглена изчислена плътност на мощност - E_{IR} (W.m^{-2}), за да се отчете възможността за термично увреждане на предните структури на окото - роговица и леща. В този диапазон продължителността на експозицията се отчита при изчисляване на ГСЕ при $t \leq 1000 \text{ s}$, а при $t > 1000 \text{ s}$ ГСЕ за плътността на мощност е фиксирана стойност. За тези увреждания ъгловият размер на източника не е от значение.

За да се отчете възможността за изгаряне на кожата във видимия, ИЧ-А и ИЧ-В диапазони (380 nm - 3000 nm), в Директивата са дадени гранични стойности на експозиция в непретеглена, изчислена за целия диапазон енергетична доза H_{skin} , J.m^{-2} . Продължителността на експозицията се отчита при изчисляване на ГСЕ, когато $t < 10 \text{ s}$.

На Таблица 12 са представени граничните стойности за експозиция, съгласно Наредба № 5/2010 г. (Директива 2006/25/ЕК).

Таблица 12. Гранични стойности на експозиция за некохерентни оптични лъчения, съгласно Наредба №5/2010 г.

Индекс	Дължина на вълната, nm	Гранична стойност на експозиция	Мерни единици	Коментар	Част от тялото	Опасност
1.	180 – 400 (UVA, UVB и UVC)	$H_{eff} = 30$ Дневна стойност 8 часа	$[J \cdot m^{-2}]$		Роговица на окото Конюктива на окото Леща на окото Кожа	Фотокератит Конюктивит Катаракта (катарактогенезис) Еритема Еластоза Рак на кожата
2.	315 – 400 (UVA)	$H_{UVA} = 10^4$ Дневна стойност 8 часа	$[J \cdot m^{-2}]$		Леща на окото	Катаракта (катарактогенезис)
3.	300 – 700 (синя светлина) виж забележка 1	$L_B = \frac{10^6}{t}$ За $t \leq 10000s$	$L_B : [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$ $t : [s]$	За $\alpha \geq 1 mrad$	Ретина на окото	фоторетинит
4.	300 – 700 (синя светлина) виж забележка 1	$L_B = 100$ За $t > 10000s$	$[W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$			
5.	300 – 700 (синя светлина) виж забележка 1	$E_B = \frac{100}{t}$ За $t \leq 10000s$	$E_B : [W \cdot m^{-2}]$ $t : [s]$	За $\alpha < 1 mrad$ виж забележка 2		
6.	300 – 700 (синя светлина) виж забележка 1	$E_B = 0,01$ $t > 10000s$	$[W \cdot m^{-2}]$			
7.	380 – 1400 (Видима и IRA)	$L_R = \frac{2,8 \cdot 10^7}{C_\alpha}$ за $t > 10s$	$[Wm^{-2}sr^{-1}]$	$C_\alpha = 1,7$ за $\alpha \leq 1,7 mrad$ $C_\alpha = \alpha$ за $1,7 \leq \alpha \leq 100 mrad$ $C_\alpha = 100$ за $\alpha > 100 mrad$ $\lambda_1 = 380;$ $\lambda_2 = 1400$	Ретина на окото	Изгаряне на ретината
8.	380 – 1400 (Видима и IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0,25}}$ за $10\mu s \leq t \leq 10s$	$L_R : [Wm^{-2}sr^{-1}]$ $t : [s]$			
9.	380 – 1400 (Видима и IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ за $t < 10\mu s$	$[Wm^{-2}sr^{-1}]$			
10.	780 – 1400 (IRA)	$L_R = \frac{6 \cdot 10^6}{C_\alpha}$ за $t > 10s$	$[Wm^{-2}sr^{-1}]$	$C_\alpha = 11$ за $\alpha \leq 1 mrad$ $C_\alpha = \alpha$ за		

11.	780 – 1400 (IRA)	$L_R = \frac{5 \cdot 10^7}{C_\alpha t^{0.25}}$ 3а $10\mu s \leq t \leq 10s$	$L_R : [Wm^{-2}sr^{-1}]$ $t : [s]$	$11 \leq \alpha \leq 100mrad$ $C_\alpha = 100$ за $\alpha > 100mrad$ (зрително поле на измерване: $11mrad$) $\lambda_1 = 780$; $\lambda_2 = 1400$	Ретина на окото	Изгаряне на ретиата
12.	780 – 1400 (IRA)	$L_R = \frac{8,89 \cdot 10^8}{C_\alpha}$ 3а $t < 10\mu s$	$[Wm^{-2}sr^{-1}]$			
13.	780 – 3000 (IRA и IRB)	$E_{IR} = 18000t^{-0.75}$ 3а $t \leq 1000s$	$E : [Wm^{-2}]$ $t : [s]$		Роговица на окото леца	Изгаряне на роговицата катарактогенезис
14.	780 – 3000 (IRA и IRB)	$E_{IR} = 100$ 3а $t > 1000s$	$[Wm^{-2}]$			
15.	380 – 3000 (Видима, IRA и IRB)	$H_{skin} = 20000t^{0.25}$ 3а $t < 10s$	$H : [Jm^{-2}]$ $t : [s]$		кожа	изгаряне

Забележка 1: Диапазонът от 300 до 700 nm обхваща част от UVB, целия UVA и голяма част от видимия диапазон; независимо от това рискът, който се свързва с този диапазон, най-общо се разглежда като риск „синя светлина“. Строго погледнато синята светлина обхваща само диапазона приблизително от 400 до 490 nm

Забележка 2: За устойчиво фиксиране на много малки източници с ъглов размер $< 11 mrad$, I_B може да бъде преобразувано в E_B . Това обикновено се прилага само за офталмологични инструменти или за стабилизирано око по време на анестезия. Максималното време за гледане вътречено се изчислява от $t_{max} = 100/E_B$, като E_B се изразява във $W.m^{-2}$. Поради движения на окото по време на нормални зрителни задачи то не надвишава 100 s

Подобни, но не идентични гранични стойности са публикувани от Американската конференция на държавните трудовохиgienисти (ACGIH).

Независимо от използвания нормативен документ е необходимо да се знае спектърът на излъчване на изследвания източник, за да се изберат приложимите ГСЕ. Следва да се отбележи, че за даден спектрален обхват може да са приложими няколко ГСЕ.

Класификация на източниците на оптично полихроматично лъчение

Независимо от използвания подход при въвеждане на гранични стойности за експозиция/максимално допустими стойности за оптични лъчения, някои организации и страни въвеждат класификационни схеми на източниците по степен на риск – създадени по аналогия на класификацията на лазерите и лазерните системи по степен на риск.

Първата класификационна схема на източниците на оптични полихроматични лъчения е предложена от Sliney и Wolbarsht и в последствие приета от СЗО. Идеята на този подход е, преди да се извършват измервания и изчисления, да се определи необходимостта от подробна оценка на риска. Отчита се фактът, че някои рискове са специфични за конкретни типове лампи. Съществуват и много категории източници, които се изключват от по-нататъшни оценки. Критериите за категоризацията на източниците са както следва:

- начин на генериране на лъчението;
- спектър на излъчване на източника;
- пропускането на лъчение от кожата на лампите;
- допълнителни условия, възникващи при експлоатация на източниците, например счупване на външния кожух, нетипично приложение на източниците и др.

Първите стандарти с класификация от този вид са въведени от ANSI. В тях класификацията е на базата на вероятността източниците на оптично лъчение да създават риск за здравето. Впоследствие тази класификация е преразгледана от CIE/CEN и е предложена нова класификация, издадена като европейски стандарт. Стандартът за лампи и системи лампи показва потенциалния фотобиологичен риск, който създават източниците на оптично полихроматично лъчение. Класификацията се основава на емисията на източника, а не на експозицията на човека, тъй като последната се определя от действителното разстояние до източника и продължителността на облъчването. В Таблица 13 са представени рисковите групи съгласно CIE.

Таблица 13. Рискови групи за лампи, съгласно CIE

	Исключения	Рискова група 1	Рискова група 2	Рискова група 3
	Няма опасност	Нисък риск	Умерен риск	Висок риск
Тип на опасността	ГСЕ не се надвишава за продължителност на експозицията до: (т.е. надвишават се за продължителност на облъчването над:)			Прагът за облъчване се надвишава за
Активен UV (очи и кожа)	30 000 s	10000 s	1000 s	< 1000 s
UVA (леща)	1000 s (≈ 16 min)	300 s	100 s	< 100 s
Фотохимична (ретица)	10000 s (≈ 2.8 h)	100 s	0.25 s	< 0,25 s
Термична (ретица)	10 s	10 s	0.25 s	< 0,25 s
IR лъчение (роговица, леща)	1000 s	100 s	10 s	< 10 s

Четири групи източници по степен на риск се характеризират както следва:

Група изключения – не съществува фотобиологична опасност при условията, които могат да се предвидят;

Рискова група 1 – Група с нисък риск – рискът се ограничава от нормални поведенчески ограничения на експозицията;

Рискова група 2 – Група с умерен риск – рискът се ограничава от реакцията на отвращение към много ярки светлинни източници. Тези реакции, обаче, не са универсални.

Рискова група 3 – Група с висок риск – може да създаде риск даже при моментна или краткотрайна експозиция.

В зависимост от условията на използване, времето на облъчване или околната среда, тези рискове могат в действителност да доведат или не до вредни ефекти за здравето.

В стандарта са определени две различни разстояния на измерване на параметрите на оптичното лъчение, с цел класификация на източниците: разстоянието, на което осветеността е 500 lx за лампите, предназначени за осветление и 20 cm за лампите, чието предназначение е различно от осветление.

Класификационната схема, съгласно CIE, осигурява полезна информация, за да подпомогне анализа на риска от конкретна лампа. За лампи, които попадат в групата изключения, не е необходим по нататъшен анализ, освен в случаите на много малки разстояния и дълготрайно облъчване с UV-A.

Производителите на машини, който излъчват оптично лъчение, имат задължението по „Машинната Директива“ да ги класифицират съгласно EN 12198. Стандартът се прилага за всички основни или съпътстващи емисии, освен за източниците, използвани само за осветление. Машините се класифицират в една от три категории в зависимост от ефективната плътност на мощността на лъчението, измерена на разстояние 10 cm. Трите категории по ред на нарастване на риска и необходимата информация и обучение са показани в Таблица 14.

Таблица 14. Прагове за емисия за класификация на машини в UV диапазон, съгласно EN 12198 92

Категория	Ефективна плътност на мощността, E_{eff}
0	$\leq 0,1 \text{ mWm}^{-2}$
1	$\leq 1,0 \text{ mWm}^{-2}$
2	$> 1,0 \text{ mWm}^{-2}$

При тази класификация: за категория 0 - няма ограничения, за категория 1 - се изискват ограничения на достъпа, защитни мерки; 2 - се изискват специални ограничения и защитни мерки.

Съгласно стандарта само работодатели, които използват източници от група с висок риск (група 3), е необходимо да извършват измерване и оценка на оптичните лъчения в работна среда.

Независимо от нормативния документ, съществуват **ограничения при прилагането на класификационните схеми**:

Класификацията се отнася до достъпното оптично лъчение, но не отчита допълнителните рискове, като електрически ток, допълнително (съпътстващо) лъчение, изпарения, шум и др. Класификацията е приложима при нормално използване на продуктите, но не и за поддръжка или сервиз или в случаите, когато източникът е част от съоръжение. Тя се отнася до единични източници и не може да се прилага за облъчване с множество източници.

Източниците се класифицират на разстояния, на които създават осветеност 500 lx за лампите, използвани за осветление, и на 20 cm от източника за други източници, което за много практически приложения не е реалистично. За по-големи разстояния рискът е по-малък, което означава, че допустимата продължителност на облъчване нараства с разстоянието от източника.

Съгласно изискванията на нормативните документи за защита от изкуствени оптични лъчения, в случай на експозиция на изкуствени оптични лъчения е необходимо да се оценят и при необходимост да се измерят и/или изчислят вероятните нива на експозиция, с цел да се определят и приложат мерките, необходими за ограничаване на експозицията до съответните гранични стойности.

За спазване на тези изисквания в някои случаи се използват данните от производителя за изчисляване на вероятните нива на експозиция или се прилага предварителната класификация на източника по степен на риск, което позволява прецизна оценка, когато са ясни характеристиките на източника и е известен и повтарящ се сценария на експозиция. Ограниченията на класификационните схеми за източници на оптично полихроматично лъчение в общия случай позволяват само предварителна оценка на източниците и преценка дали те са „тривиални“, т.е. безопасни от гледна точка на облъч-

ване с оптично полихроматично лъчение. За всички останали източници оценката на риска се извършва на базата на измерване и оценка на експозицията на оптичните лъчения.

В оптичния диапазон на електромагнитния спектър методите за измерване могат да се основават на физичен принцип или на химична или биологична реакция. Обикновено физични детектори се използват за измерване на моментното облъчване, а химичните и биологичните - за определяне на дозата.

Видове детектори за измерване на оптични лъчения

Химични и биологични детектори

- **Фотографски плаки** - мярка за интензитета на лъчението е степента на почерняване на плаката. При внимателно контролирани условия на експозиция и проявяване на плаката, този метод дава висока степен на точност. Проблем при този вид методи е постигането на подходяща спектрална реакция и необходимостта от допълнителна обработка в лабораторни условия за получаване на резултатите.
- **Химични методи** - съществуват някои химикали, при които облъчване с оптично лъчение води до измерими изменения - те могат да бъдат използвани за измерване на облъчването (използва се пропорционалността между предизвиканите промени и дозата). Тези методи са относително прости, но са бавни и изискват лабораторен анализ. Те са чувствителни към температурата и малки количества примеси. Пример за точен актинометър е този, основан на скоростта на фотохимично разлагане на оксаловата киселина в присъствието на уранил ацетат. Открити са и химични дозиметри, като например термопластичния полисулфон с активен спектър, подобен на този, предизвикващ еритема на човешката кожа.
- **Биологични методи** - възможно е използването на човешката кожа като индиректен дозиметър за УВ лъчение. Съществуват и изследвания, в които в качеството на дозиметър на УВ-лъчение се използват микроорганизми, например, bacteriophage T7 или *Bacillus subtilis*.

Физични детектори

Физичните детектори се разделят на две големи групи в зависимост от метода на превръщане на оптичния сигнал в електрически :

Топлинни детектори

В топлинните детектори падащото лъчение се поглъща и като резултат се повишава температурата. Това води до промяна на други параметри на приемника, които могат да бъдат измерени. Съществуват няколко вида топлинни детектори:

- **болометри** - при тях повишаването на температурата води до увеличаване на електрическото съпротивление;
- **термоелементи** - тук фоточувствителният елемент е изработен от два различни материала. Оптичният поток, попадайки върху термоелемента, води до индуциране на термо-електродвижеща сила;
- **оптоеластични детектори** - тук фоточувствителният елемент е кристал, при поглъщането на лъчението се получава неравномерно загряване на кристала, в резултат на това се получава градиент на температурата, при което възниква деформация и като резултат, материалът се поляризира. Поляризацията е пропорционална на деформацията, а оттам и на погълнатия светлинен поток;
- **оптоакустични детектори** - те могат да бъдат честотно селективни и неселективни. Представяват затворен обем с газ, който е вакуумно изолиран и върху стените е нанесен тънък филм-материал, напр. черен никел. В обема е поставен микрофон (или мембрани от органично фолио). Оптичното лъчение се поглъща от филм материала, който при това се загрява. По такъв начин се загрява и газът, а това води до повишаване на налягането, в резултат на което мембраната на микрофона се деформира. Погълнатото лъчение се отчита по деформацията на мембраната.
- **пироприемници** - при тях в качеството на чувствителен елемент се използват: литиев ниобат, бариев титанат, триглицерин сулфат и телуrowи съединения. При не-

равномерно загряване, кристалът се поляризира и възникват електрически потенциали, пропорционални на скоростта на изменение на температурата. Тези устройства работят в динамичен режим - чрез модулация на лъчението.

Трябва да се отбележи, че топлинните детектори се използват по-често във видимия и инфрачервения диапазон на спектъра, като трябва да се има предвид тяхната по-малка чувствителност. Друг проблем при този тип приемници е сравнително голямата време-константа, което не позволява да се отразят вариациите във времето на интензитета на лъчението, особено при импулсни източници.

Квантови детектори

Квантовите детектори се основават на явленията вътрешен и външен фотоефект. Те са няколко вида:

- **фотоелектронни умножители (ФЕУ)** - Спектралната им реакция се определя от състава на катода и прозорчето, през което преминава лъчението. Чувствителността на фотоумножителите е от порядъка на 10 пъти по-висока от тази на фотодиодите;
- **фотодиоди** - те са полупроводникови фотоприемници. Представяват една *p-n* структура. Чувствителността на фотодиода се определя от отношението на тока, предизвикан от поглъщането на оптичното лъчение към потока, който го предизвиква. Съществуват няколко вида фотодиоди:
 - **вакуумни фотодиоди** - те могат да се използват за късовълново УВ лъчение;
 - **силициеви фотодиоди (фотоклетки)** - те обикновено са от дифузионен тип в тях покритието от SiO₂ се нанася на повърхността на прехода. Квантовата ефективност на фотодиодите обикновено е около 50%, но е установено, че при някои материали (природен SiO₂) облъчването на прехода с УВ-лъчение води до нейното увеличаване;
 - **GaAsP фотодиоди** - галиево арсенидните фосфорни фотодиоди са от дифузионен тип, подобни са на силициевите клетки, в които тънко златно покритие е нанесено върху *n* - слоя. Тези клетки, обаче, не реагират на инфрачервено лъчение и това ги прави по-подходящи за УВ областта;

• **фоторезистори** - използват се като координатно - чувствителни фотоприемници; рядко се използват за измерване на интензивността на лъчението. Времеконстантата им се мени в зависимост от дебелината на слоя и вида материала.

При използване на този вид детектори трябва да се има предвид, че техните характеристики се влияят от промени в околната температура.

Уреди/методи за измерване на оптични лъчения. Предимства и недостатъци

За оценка на оптичните полихроматични лъчения се използват следните основни групи уреди/методи за измерване.

Спектрорадиометрия

Спектрорадиометрията е техника за измерване на спектралната плътност на мощност, създавана от източника на оптично лъчение в дадена позиция спрямо източника. Трите основни елемента на спектрометричната система са входна оптика, чието предназначение е да проведе лъчението от източника до монохроматора, който диспергира лъчението от източника върху детектора. Резултатът от измерване е спектър на лъчението, който може да бъде използван за изчисление на претеглени или непретеглени плътности на мощност и енергетични дози. Надеждни резултати се получават независимо от това дали интензитетът на лъчението е постоянен, или се променя по време на измерването при условие, че тези измервания са в границите на времето за реакция на уреда.

Спектрорадиометър със сканиращ монохроматор – при този тип уреди различните дължини на вълната се сканират стъпка по стъпка в рамките на няколко минути. Резултатът от измерване е спектър, който може да се използва за изчисление на претеглените или непретеглените плътности на мощност и енергетични дози. Надеждни резултати може да се получат само при постоянен интензитет на лъчението по време на измерването.

Спектрорадиометър с ред детектори

При използване на такъв уред всички дължини на вълната се измерват мигновено (в рамките на секунди/милисекунди) без да е необ-

ходимо механично движение. Съществуват два вида спектрорадиометър с ред детектори:

- **с едномерен ред детектори** – в този случай измерваният спектър се проектира върху ред от детектори (например фотодиоден ред) с помощта на монохроматор дифракционна решетка. Проблем при този вид спектрорадиометри е, че често възникват проблеми с разсеяна светлина, попадаща върху площта на детектора, което води до грешни измервания;
- **с двумерен ред детектори** – този вариант на уреда позволява намаляване на влиянието на разсеяната светлина в сравнение с това при спектрорадиометрите с 1-мерен ред детектори. Спектрорадиометрите с двоен монохроматор са най-точни и прецизни.

Съществуват и бързи спектрорадиометри с площни детектори, което премахва необходимостта да се сканира по спектъра. Тези уреди, обаче, са по-нечувствителни. Те често детектират и лъчение извън диапазона, което затруднява използването им за източници, излъчващи освен УВ лъчение и видимо и инфрачервено лъчение, при тях също съществува проблем с разсеяно лъчение.

Основното предимство на тази група измервателни уреди е, че са много прецизни.

Недостатъците им са свързани с: висока цена, сложност на измерването, необходимост от по-честа калибровка, поради наличие на движещи се елементи; неудобство за използването им в реална работна среда; по-висока чувствителност към външните условия.

Други недостатъци са свързани с по-големите им размери, което прави приложението им невъзможно в труднодостъпни места, сканирането по спектъра е сравнително бавно, което ги прави неприложими за източници, чиито емисии се променят бързо (заваръчни дъги).

Имайки предвид предимствата и недостатъците им се счита, че те не са приложими за рутинни измервания и мониторинг за безопасност, а по-скоро в лабораториите за определяне на рисковата група на лампите или за изследователски проекти или експертни оценки на безопасността на работното място.

Радиометрия

Най-общо радиометрите съдържат няколко основни елемента, а именно: входна оптика: на пример апертура, дифузер, филтри; детектор и преобразувател на сигнала от детектора.

Падащото лъчение преминава през апертурата, която ограничава активната площ на системата. Дифузерът се поставя след апертурата и служи за подобряване на ъгловата реакция и пространствената изотропност на уреда. След него се поставя оптичен филтър, за да се избере спектралният диапазон, които достига до детектора.

Сигналът, които се получава от такъв измерител, е интегралът от спектралната чувствителност на уреда $S(\lambda)$ и разпределението на плътността на мощност на лъчението от източника $E(\lambda)$:

$$i = \int_{\lambda} E(\lambda) S(\lambda) d\lambda ,$$

т.е. реакцията на уреда е функция на реакцията на детектора, както и на пропускането на дифузера и оптичния филтър.

Познати са следните видове радиометри, които са приложими за измерване и оценка на оптични полихроматични лъчения:

Радиометър с постоянна спектрална чувствителност

С този уред лъчението се измерва в целия спектрален обхват с еднаква чувствителност за всяка дължина на вълната. Резултатът от измерване е интегрална стойност за целия интервал дължини на вълната. Границите на спектралния обхват може или да се задават от уреда, или да се избират чрез използване на оптични филтри. Някои типове уреди позволяват интегрирано по времето измерване, така че допълнително може да се получи и енергетичната доза. Проблем при този тип апаратура е, че е необходима спектрална корекция на резултатите от измерванията. В противен случай се получава надценяване или подценяване на експозицията.

Радиометър със спектрална чувствителност, съответстваща на определена тегловна функция $S(\lambda)$, $B(\lambda)$, $R(\lambda)$

С такъв уред характеристиките на лъчението се измерват в обхвата дължини на вълната с прилагане на спектрална тегловна функция $S(\lambda)$, $B(\lambda)$, $R(\lambda)$. Те са полезни за целите на практическата оценка на опасността от оптичното лъчение. Резултатите от измерване са биологично ефективни величини, които директно могат да се използват за сравнение с граничните стойности в нормативните документи.

Постигането на детектор, чиято спектрална чувствителност следва определена тегловна функция $S(\lambda)$, $B(\lambda)$, $R(\lambda)$ е много трудно. Следователно, детекторът може само да доближава необходимия активен спектър и измерената ефективната стойност в някои случаи може (в зависимост от качеството на измерителя и спектралното разпределение на източника) да е силно погрешна.

Степента на точност зависи от това доколко спектралната чувствителност на радиометъра съвпада с тегловната функция/активния спектър за съответен биологичен ефект. Крайната точност на измерване до голяма степен зависи от относителното спектрално разпределение на източника. Подобни уреди могат да имат относително висока грешка до 30 % .

Радиометрите имат следните предимства: те са прости за употреба - директно отчитат резултатите от измерване; относително евтини (спрямо спектрометриите), могат да имат спектрална чувствителност, близка до биологично основана тегловна спектрална функция, преносими са и могат да се използват даже, когато достъпът до източника е труден; удобни са за използване на работните места, нямат движещи се елементи, което прави необходимостта от калибриране по-рядка; извършват измервания в реално време; здрави са; не изискват постоянно електрическо хранване.

Недостатъците на радиометрите са свързани със следното: грешките от измерване може да са големи и трудно могат да се определят количествено; това прави сравняването на резултатите на различни потребители или различни източници от един и същ потребител трудно; грешката от несъответствие на спек-

тралната чувствителност с активния спектър е неизбежна; калибровъчните протоколи не са дефинирани - това означава, че калибровъчните стойности, определени от една лаборатория, може да се различават от тези получени от друга лаборатория, даже за един и същ радиометър. Сравняването на резултатите от измерванията между различни потребители може да е трудно.

Независимо от описаните недостатъци се счита, че тези уреди са най-подходящи за мониторинг на оптични лъчения в работна среда, като предварително са оценени възможните грешки при измерванията.

Дозиметрия

Прилага се главно в УВ диапазон на оптичния спектър, като се срещат следните основни типове дозиметри:

Пасивен персонален дозиметър

Пасивните дозиметри са най-често химически: цветът им се променя с нарастване на експозицията, дозата се определя чрез визуално сравнение с калибрирана цвetoва скала. Най-важните свойства на химическите дозиметри са: спектрална реакция, спектрално отражение, характеристична крива, цвят и стабилност на цвета.

С такъв уред лъчението може да бъде измерено на облъчените места от тялото. След измерването е необходима допълнителна оценка, за да се получи резултат. Резултатът е енергетична доза на лъчението, интегрирана за цялото време на измерване. Спектралната чувствителност на дозиметъра може или да е постоянна или да е в съответствие със спектрална тегловна функция.

Тъй като нивото на експозицията се определя с извесно закъснение, те не могат да се използват като директен предупредителен уред срещу свръхекспозиция. Тези дозиметри могат да бъдат използвани за оценка на безопасността в работна среда, в случаите когато нивото на експозиция се оценява за специфичен източник и задача, за да се вземе решение за необходимостта от мерки за защита или по-точна оценка.

Предимството им пред електронните уреди е, че те са много леки и могат да бъдат носени без да пречат на работещите при измерване. Недостатък е, че не отчитат в реално време и е необходима допълнителна обработка в лабораторни условия, за да се получи резултатът от измерване. Друг проблем е, че спектралната реакция често само приблизително следва спектралната тегловна функция за оценявания диапазон.

Активен персонален дозиметър

Спектралната чувствителност на дозиметъра може или да е константа или да съответства на спектрална тегловна функция. Резултатът от измерване може или да се отчете от екрана на дозиметъра, или да се прехвърли в компютър.

Тези персонални измерители или натрупват енергетичната доза непрекъснато, или записват променящата се във времето плътност на мощност, която се отчита след работния ден. Те може да осигуряват звуково или светлинно предупреждение за прекратяване на експозицията. Някои от тях са предназначени специално за защита срещу прекомерното излагане на слънчево УВ лъчение (най-често под формата на ленти за китката или ревера), имитиращи кривата на CIE за еритемна ефективност, а други могат да изискват въвеждане на чувствителността на кожата.

Те са специализирана форма на неселективни радиометри и биха били обект на същите потенциални грешки, зависими от дължината на вълната. Съществуват трудности при носенето на дозиметъра, когато експозицията е с много източници с различаващи се спектри, тъй като с един корекционен фактор не могат да се обхванат тези вариации.

В повечето нормативни документи няма изисквания към конкретен уред или метод на измерване. Важното е да са известни ограниченията му, така че да може да се оценят възможните грешки и измерванията да се планират по начин, по които те могат да бъдат отчетени при оценка на експозицията и риска. За работещите на открито най-често се използват методите на дозиметрията, като допълнително се осигуряват данни за слънчевото лъчение със спектрорадиометър или

радиометър със спектрална функция, съответстваща на $S(\lambda)$.

След измерванията и оценката на експозицията и риска на работещите от облъчване с оптични лъчения, се предлагат адекватни мерки за защита, като приоритет имат техническите средства (екрани, филтри, ограничаване на достъпа), следвани от административен контрол и лични предпазни средства.

Необходимо е също обучение на работещите във връзка с рисковете от оптичните лъчения, мерки за избягването им и мерки за защита, както и възможните фотосенсибилизатори в работната среда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наредба № 5 за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на изкуствени оптични лъчения, ДВ бр. 49, 2010
2. ACGIH: Threshold Limit Values (TLVs) and Biological Exposure Indices (BEIs), 2016
3. ANSI/IESNA RP -27.1-96 Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems - General requirements
4. ANSI/IESNA RP -27.3-96 Recommended Practice for Photobiological Safety for Lamps and Lamp Systems - Risk group classification
5. CIE S 009/E:2002: Photobiological safety of lamps and lamp systems
6. Directive 2006/25/EC of the European parliament and of the council of 5 April 2006 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (artificial optical radiation) (19th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)
7. EN 14255-1:2005 Measurements and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation – Part 1: Ultraviolet radiation emitted by artificial sources in the workplace
8. EN 14255-2:2005 Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation - Part 2: Visible and infrared radiation emitted by artificial sources in the workplace

9. EN 14255-3:2008 - Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation – Part 3: UV radiation emitted by the sun
10. EN 12198-1, Safety of machinery - Assessment and reduction of risks arising from radiation emitted by machinery – Part 1: General principles
11. IARC: Solar and ultraviolet radiation, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic risks to Humans, Vol. 100, Part D Radiation, Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2012.
12. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 μm ; Health Physics 105(3):271-295; 2013
13. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to incoherent visible and infrared radiation, Health Physics 105(1):74-96; 2013
14. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Ultraviolet Radiation of Wavelengths between 180 nm and 400 nm (Incoherent Optical Radiation). Health Physics 87 (2): 171-186; 2004.
15. Measurement of optical radiation hazards. A reference Book, Based on presentations given by health and safety experts on optical radiation hazards, Gaithersburg, Maryland, USA, September 1-3, 1998; International Commission on Non-ionizing Radiation protection and International Commission on Illumination (CIE), 1998
16. Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC 'Artificial Optical Radiation' (29/4/2011)
17. Protecting Workers from Ultraviolet Radiation, Edts: P. Vecchia, M. Hietanen, B. E. Stuck, E. van Deventer, S. Niu, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection in collaboration with International Labour Organization, World Health Organization, ICNIRP 14/2007
18. Slaney DH, Wolbarsht ML. Safety with lasers and other optical sources. New York: New York: Plenum Publishing Corp; 1980.
19. WHO: Environmental Health Criteria No. 160. Ultraviolet Radiation. Joint Publication of the United Nations Environmental Programme, The International Radiation Protection Association and the World Health Organization, Geneva: WHO;1994

РАЗДЕЛ 7

Лазерни лъчения. Видове лазери и тяхното приложение. Вредно действие на лазерното лъчение върху човека. Разпространение на лазерното лъчение в работна среда. Принципи на лазерната защита. Класификация на лазерите по степен на риск. Оценка на конкретните условия на облъчване на човека. Оценка на риска

Както беше описано в Ръздил 6 на настоящото Ръководство, лазерното лъчение е оптично лъчение с някои специфични характеристики, основните от които са **монохроматичност, кохерентност и колимираност на оптичния сноп** лъчи. Лазерното лъчение се излъчва от източник – **лазер**, съдържащ три основни конструктивни елемента: **активна среда, напомпваща система и оптичен резонатор**. **Лазерната система** е съоръжение, съдържащо в себе си лазер (източник на лазерно лъчение). Наименованието на източника – лазер, представлява съкращение от първите букви на израза *Light Amplification by Stimulating Emission of Radiation* – „усилване на светлината чрез стимулирано излъчване”.

Видове лазери

Лазерите могат да бъдат описани като видове, в зависимост от:

- **дължината на вълната:** ултравиолетови, във видимия обхват, инфрачервени лазери; по-конкретно в съответните цветове на видимия обхват или на подобхватите на ИЧ или УВ лъчение;
- **мощността на излъчване:** с ниска, средна, висока мощност; или маломощни, средномощни, високомощни лазери;
- **напомпващата система (захранването):** с ел. ток, с електрически импулси, с оптично напомпване (оптични лампи или лазер), използващи химични реакции с отделяне на енергия;
- **оптичният резонатор:** различни видове оптични системи, лазери с модулация на доброкачествеността на резонатора;
- **активната среда:** твърдотелни, полупроводникови, газови, йонни, течни, химически, ексимерни;
- **времените характеристики на излъчване:** с непрекъснато излъчване (CW), с импулсно излъчване (единични импулси, серия импулси, с повтарящи се импулси), с гигантски импулси;
- **метода на охлаждане:** с въздушно охлаждане, водно, с криогенни течности;
- **приложението:** медицински лазери, промишлени лазери, демонстрационни и др.;
- **степента на риск:** ще бъдат обсъдени по-нататък.

Ето някои примери за лазерни системи от различни видове, в зависимост от дължината на вълната и, респективно, активната среда:

а) газови (вкл. и йонни):

- хелий-неонов лазер (He-Ne), $\lambda = 632,8 \text{ nm}$;
- лазер на въглероден диоксид (CO_2), $\lambda = 10,6 \text{ }\mu\text{m}$
- аргонов лазер (Ar), основни модове: $\lambda = 488,0 \text{ nm}$, $514,5 \text{ nm}$, $528,7 \text{ nm}$ (плюс още 7 дължини на вълните в зеления цвят и една в УВ-А)
- криптонов лазер (Kr), основни модове: $647,1 \text{ nm}$, $676,4 \text{ nm}$

б) твърдотелни

- рубинов лазер (Ruby laser) – лазер с активна среда рубинов кристал, $\lambda = 694,3 \text{ nm}$
- Nd:YAG лазер (лазер с активна среда итриево-алуминиев гранат), $\lambda = 1064 \text{ nm}$; втори мод на излъчване $\lambda = 315 \text{ nm}$ (още многобройни дължини на вълните с много по-ниска енергия)

в) полупроводникови лазери (инжекционни диоди)

- галиев арсенид (GaAs), $\lambda = 904 \text{ nm}$
- кадмиев селенид (CdSe), $\lambda = 690 \text{ nm}$

г) течни лазери (багрилни лазери),

- лазери на багрила, напр. Rhodamin 6G, $\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$

д) ексимерни лазери (димерни) – с молекулна активна среда

- ксенонов димер (Xe_2), $\lambda = 172 \text{ nm}$.
- азотна молекула (N_2), $\lambda = 337 \text{ nm}$
- криптон (Kr_2), $\lambda = 146 \text{ nm}$

и много други.

Приложение на лазерите

Специфичните свойства на лазерния лъч дават огромни възможности за приложението на лазерните системи в различни области на индустрията, строителството, технологиите, медицината, услугите, науката, военната техника, обществения живот. Тук ще цитираме само някои основни приложения, тъй като в тази област има достатъчно обща и специализирана литература, издадена у нас през последните години.

Например големи възможности открива лазерният микроспектрален анализ в областта на металознанието. Благодарение на голямата локализация е възможно да се изследва съставът на структурните съставлящи, каквито са металните кристали, смесените кристали, интерметалните фази, различните макро- и микровключвания, дифузионните преходни слоеве, рекристализационните преходи, заваръчните шевове и много други. Възможности-

те на други методи, алтернативни за подобни изследвания, са далеч по-малки. Лазерният микроспектрален анализ може да се провежда както с шлифовани, така и с необработени образци, при това без всякакво разрушаване на детайлите; могат да се изследват сравнително големи образци, дори до няколко kg, както и такива с нищожно малки размери. Изпареното вещество от пробата е от порядъка $1 \mu\text{g}$.

Особен интерес представлява изучаването на различни микроучастъци в метеорити или изучаването на много малки метеоритни частици. Някои от частиците са толкова дребни, че не могат да бъдат отделени механически и подложени на други видове анализ.

Лазерният лъч се прилага и за установяване на дефекти в кристалната решетка при анализ в дефектоскопията, металолеенето, високите технологии и т.н.

Високата енергия на лазерния сноп, концентрирана в малка площ (високата плътност на енергията), позволява той да се прилага за пробиване на отвори, рязане, гравирание и други обработки на твърдотелни и труднотопими материали, стъкло, дървен материал и др., които не могат да се обработват с други методи или това е достатъчно трудно. Ефектът на обработка е много фин, без кратери на отворите и на фигурите при гравирание.

В строителството лазерният лъч се прилага за жалониране, подаване на ниво (при тунелно, пътно и високо строителство), измерване на разстояния и други. Лазерният далекомер е достатъчно точен за определяне на разстояния при картографиране, в геодезията, селското стопанство и други подобни.

Едно от много ефективните приложения на лазерите е в холографията. Колимираността на лазерния сноп, неговата временна и пространствена кохерентност, дават възможност за получаване на ясен тримерен образ, дори до размери, близки до тези на дължината на вълната на лазерното лъчение. Тези свойства могат да бъдат приложени както при научни изследвания, така и за целите на демонстрацията, исторически обекти, изложби и за други случаи на представяне на информация за населението.

Широко приложение лазерите намират при оптичните методи за научни и технически изследвания, в лазерния спектрален анализ, в холографията и в много други области.

Възможностите на лазерния сноп в областта на комуникациите също са много големи. Лазерите могат да се използват за системи за свързка, за информационни технологии. Оптичните връзки са с висока степен на чистота на сигнала от външни влияния, както и с възможности за многоканална връзка, поради високата честота на оптичния обхват.

Лазерите се използват за ефекти, демонстрации и други в телевизията, кинематографията, в изложби, дори в дискотеките.

Едно от най-сериозните приложения на лазерите е медицината. Няма област, в която лазерният лъч да не може да се приложи за целите на диагностиката, терапията, хирургическа намеса и други.

Лазерният лъч се използва в биологията и в медицината като тънък и много точно насочен хирургически нож. Най-често използваните лазери в областта на хирургията са лазерите CO_2 , а също и тези с активна среда Ar, CuBr_2 , рубин, Nd:YAG, полупроводниковите лазери. Дължината на вълната, излъчвана от лазер на CO_2 (10,6 μm – далечната ИЧ област), се поглъща максимално от водните молекули и това позволява да се извършват безкръвни хирургически намеси в меките тъкани, чрез директно изгаряне на тънък слой от тъканта. По подобен начин се унищожава и локализиран тумор чрез провеждане на светлинната енергия до мястото на мишената (тумора) по световоди (оптични влакна).

Някои от хирургическите приложения са свързани с офталмологията, например за „слепване“ на ретината на окото. Ексимерният лазер често намира приложение при фини процедури в очната хирургия. Ултравиолетовата светлина се поглъща добре от органичните съединения и биологичните тъкани. Ексимерният лазер предизвиква изпаряване на прицелната тъкан, а не нейното изгаряне или изрязване. Този ефект се дължи на фотохимичния ефект върху междумолекулните връзки, които ексимерният лазер ефективно разделя. Това определя и ценното практическо

свойство на ексимерния лазер да отстранява фини слоеве без никакъв термичен ефект в дълбочина или на странични тъкани (повърхностна фотоаблация).

Лазерът навлиза все по-дълбоко и в сферата на пластичната хирургия, в козметиката, особено за целите на депилацията, пилинга, премахването на дефекти по кожата, включително за премахване на татуировки, бръчки, лунички, повърхностни лезии и др.

В областта на физиотерапията лазерът се използва за точкова терапия, чрез прилагане на познанията от китайската медицина, също и за зонотерапия в определени области на кожата.

Вредно действие на лазерното лъчение върху човека. Разпространение на лазерното лъчение в работна среда

Основният рисков фактор при работа с лазерни системи е лазерното лъчение, попаднало директно или огледално отразено върху човека, а при много високи мощности или енергии на излъчването - и дифузно отразеното.

Лазерното лъчение не прониква дълбоко в организма, освен чрез кожата и органа на зрение. Следователно основните ефекти на това действие са върху очите и кожата на човека и те са зависими от дължината на вълната на лъчението, плътността на мощността или на енергията му, продължителността на облъчване и други фактори, свързани с характеристиките на лазерното лъчение.

Все още липсват достатъчно резултати за хроничното (в продължение на месеци и години) въздействие на лазерни лъчи върху човека при ниски енергийни стойности на лъчението (под пределно допустимите норми). Поради това професионалният риск за работещите с лазери се оценява само по ефектите на въздействие върху очите и кожата.

При хигиенната оценка на лазерните лъчения спектърът от 200 nm до 1 mm се разделя на няколко поддиапазона, описани в Раздел 6 на настоящото Ръководство. Лъченията от всеки поддиапазон проникват на различна дълбочина в окото (виж фигурите от Раздел 6), а механизмите на взаимодействието им с биологичната тъкан са различни.

Биологичните ефекти от лазерното лъчение са резултат от един или повече биофизични механизми на взаимодействие: фотохимичен; термичен; термо-акустичен или електрооптичен механизъм (разкъсване на тъканите) от директното действие на големия градиент на електрическото поле в окото (при импулсни лазери), които варират в зависимост от спектралния диапазон и продължителността на експозицията.

Например в диапазона от 400 nm до 1400 nm, термичното увреждане на ретината в резултат от нарастване на температурата на пигментиращия епител е основният ефект при продължителност на експозицията по-малка от 10 s и термично увреждане на роговицата и кожата при дължина на вълната над 1400 nm. За експозиции с продължителност по-малка от около 10 ms, прегряването на меланинови гранули, причиняващи микрокавитация, доминира като механизъм на увреждане. Електрооптичният механизъм и формирането на плазма се получават при субнаносекундни експозиции, а забавената поява (24 h) на увреждането на ретината от пикосекундни експозиции може да е в резултат от вторични ефекти, предизвикани от реактивни кислородни видове. Фотохимичният и термичният механизъм на взаимодействие са описани по-подробно в Раздел 6 на настоящото Ръководство.

Тук само ще дадем някои примери за ефекти на оптичното лъчение върху човека, които съответстват на тази, представени в Раздел 6 на Ръководството.

Лъчението в честотните диапазони УВ-С и УВ-В се поглъща в роговицата и предизвиква фотокератит, като се предполага, че механизмът на действие на погълнатата електромагнитна енергия от биологичната тъкан е фотохимичен.

УВ-А-диапазонът прониква до лещата и предизвиква катаракта с термичен произход.

За видимия диапазон на лазерното лъчение роговицата, лещата и вътрешните среди на очната ябълка са прозрачни и поради това се получават изгаряния на ретината, тъй като погълнатата енергия се превръща в топлина.

В дълговълновата част на видимия спектър и в ИЧ-А диапазон въздействието на лазерното лъчение е върху предната част на очната ябълка. В този честотен обхват част от лъчението прониква до ретината, въпреки че окото „не вижда“ в ИЧ-А диапазон, което води до сериозни увреждания върху вътрешните структури на окото и върху ретината. За ИЧ-В и ИЧ-С диапазони механизмите на взаимодействие са с термичен характер, като се наблюдават увреждания главно на роговицата и по-малко на лещата на окото.

За разлика от други физически фактори на работната среда - шум, вибрации, радиочестотни ЕМВ и др., които се разпространяват в голям обем от работното помещение, лазерното лъчение е със строго определено трасе (път) на разпространение. Това позволява хигиенната оценка на лазерното лъчение да се извършва не по общоприетия метод - измерване на фактора, сравнение на измерените величини с хигиенните норми, а само по изходните характеристики на лазерния сноп, сравнени с граничните стойности на експозиция.

При лазерните лъчения методът за оценка посредством измерване също е приложим, но не е достатъчно ефективен. Причина за това е, че лазерното лъчение от определен източник не променя характеристиките си с времето – в работното помещение не се променят при разпространението дължината на вълната, диаметра на снопа, разходимостта, трасето на разпространение, продължителността на импулсите, честотата на повторението и т. н. Тези характеристики могат да се променят само с намесата на оператора. Например максималната мощност или енергия може да се промени (само към намаляване) чрез намаляване на тока или енергията на захранване, чрез поставяне на филтри, поглъщатели по пътя на лазерния сноп и др. Разходимостта на снопа се променя с оптични системи, диаметърът му - с диафрагми или с изменение на изходната апертура на източника, посоката на разпространение на снопа - чрез отражение, прилагане на оптически системи и др.

Лазерните източници с равни изходни характеристики създават еднакъв професионален риск, ако излъчват в абсолютно равни условия

в работната среда. В противен случай конкретните условия на обстановката създават и различен професионален риск.

Следователно оценката на професионалния риск от лазерни лъчения може да се изгради върху три основни принципа:

1. *познаването на изходните характеристики и класифициране на лазерната система по степен на риск;*
2. *оценка на конкретната обстановка и условията на излъчване;*
3. *квалификацията на персонала по обслужване на лазерната система и по лазерна безопасност.*

Така, хигиенната оценка на лазерните лъчения не се опростява, но изискването за измерване на енергетичните характеристики на лъчението на работните места отпада.

Познаването на изходните характеристики на лазерното лъчение позволява класифицирането на лазерите по степен на професионален риск и определяне на тези енергетични характеристики на лъчението при наличие на данни за изходните стойности (при изходния отвор/апертура на лазерния източник).

Диаметърът на лазерния сноп (D_L) на голямо разстояние R от източника е: $D_L = a + R\phi$,

където a е диаметърът на снопа при изходната апертура, ϕ е ъгълът на разходимост в rad .

Плътността на мощността (E) и плътността на енергията (H) на лъчението на разстояние R от източника се определя от формулите:

$$E = 1,27 \cdot P \cdot \exp(-\mu R) / D_L I_\lambda;$$

$$H = 1,27 \cdot Q \cdot \exp(-\mu R) / D_L I_\lambda,$$

където P и Q са съответно изходната мощност и енергия на лазерното лъчение, μ е коефициент на отслабване на лъчението при преминаването му през атмосферата.

По този начин, прилагайки сравнително прости формули, се определят всички необходими характеристики на лъчението на работното място на открито.

Един от принципите при оценка на лазерното лъчение в работното помещение (в затворе-

но пространство) е, че при огледалното отражение не се губи енергия, а само се променя пътят на лазерния сноп, а при дифузното - загубата на енергия зависи освен от това, че отражението е в пространствен ъгъл 2π (180°), също и от по-малкия коефициент на отражение на дифузната повърхност спрямо този на огледалната. По този начин се осигурява „най-лошият случай“ при оценката на риска от въздействието на лазерното лъчение върху работника.

Пределнодопустими нива за лазерни лъчения

Пределнодопустимите нива за лазерни лъчения в повечето страни в света са разработени на основата на задълбочени научни експериментални изследвания за въздействието на тези лъчения върху очите и кожата на човека.

До настоящия момент все още не са натрупани достатъчно данни от експериментални и епидемиологични изследвания за ефектите от хроничното въздействие на лазерните лъчения с ниска мощност върху човека, поради което хигиенните норми в световен мащаб се отнасят само до първичните (и някои вторични) ефекти от облъчването на очите и кожата. Те не се различават от допустимите стойности, приети за оптичните полихроматични лъчения. Различава се само принципът на лазерната защита.

У нас хигиенни норми за лазерни лъчения има утвърдени от 1986 г. Те са разработени на основата на нормативните документи на СЗО, Международната електротехническа комисия ANSI, САЩ. Хигиенните норми включват лазерни лъчения с дължини на вълната от 200 nm до 1 mm, т.е. УВ видимия и ИЧ диапазон, и се отнасят до работните места с приложение на лазери с непрекъснато излъчване и в импулсен режим - единични, повтарящи се и серия импулси с различна продължителност и честота на повторение.

Пределнодопустими нива (ПДН) се въвеждат за вътрелъчево наблюдение на директен или огледално отразен колимиран лазерен сноп; за облъчване на очите и кожата с непрекъснато лазерно лъчение или с единични импулси; за облъчване на очите и кожата с импулсно лазерно лъчение - периодични и серия импул-

си; за облъчване с лазерни лъчения с няколко различни дължини на вълните.

ПДН се изразяват като плътност на мощност (Е) или плътност на енергия (Н), усреднени в/у площ, наречена „граничен отвор“ с различен диаметър за различните дължини на вълните: 1 mm за УВ и част от ИЧ диапазон (1,4-100 μm), 7 mm за видимия и ИЧ-А-диапазон (отворена зеница на окото), 10 mm за част от далечния ИЧ диапазон (0,1-1 mm) и 80 mm при използване на оптични системи. Тази площ е свързана с най-големия професионален риск от лъчението.

При вътрелъчево наблюдение на колимиран сноп лъчи ПДН се изразяват в единици W/cm^2 за лазери с непрекъснато излъчване (над 0,25 s) и в J/m^2 – при лазери с импулсно излъчване.

За облъчване с разходящо или дифузно лъчение плътностите на мощност или енергия се изразяват в единица пространствен ъгъл $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ и $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$.

ПДН включват експозицията, зависимостта от дължината на вълната, начина на попадане на лазерния лъч в очите или върху кожата (граничния отвор и граничния ъгъл на наблюдение), зависимостите от продължителността на импулсите, от честотата на повторението им и т.н. Взета е под внимание и адитивността на въздействие (сумарен биологичен ефект) при едновременно облъчване с няколко дължини на вълните.

Подробното познаване на ПДН за лазерни лъчения изисква много висока квалификация в областта на физиката, основно оптиката и лазерната техника. За оценка на професионалния риск тук отново идва на помощ класификационната схема на лазерите.

Приетите с Наредба № 5/2010 г. гранични стойности за експозиция с лазерни лъчения принципно не се различават от представения подход за въвеждане на ПДН, като различията във въведените стойности са минимални и са в резултат от преразглеждане на новите научни доказателства, особено тези, отнасящи се до импулсните лъчения.

Класификация на лазерите и лазерните системи

Както споменахме по-горе, оценката на професионалния риск за работещите в условия на лазерни лъчения се основава на класификацията на лазерните системи, без което е невъзможно да се определят профилактичните мерки, необходими при работа с лазерното устройство. Това е и **първият етап** от оценката на риска.

Като се имат предвид особеностите на разпространение на лазерния сноп в работното помещение или извън него, класификационната схема на лазерите се извършва въз основа на:

- *изходните характеристики на лазерната система* - енергетичните или мощностните характеристики на лъчението, продължителността на импулсите и честотата на повторението им, разходимостта на снопа, дължината на вълната, диаметъра на лазерния сноп и др.;
- *пределно-допустимите нива* на облъчване с лазерни лъчения.

Изходните характеристики на лазерната система определят как се разпространява лазерният сноп, в каква посока, с какъв диаметър, с каква мощност или енергия. Тези данни позволяват на всяко разстояние от изходната апертура на лазера при разпространение в свободно пространство да се определят плътността на мощност, плътността на енергия и други характеристики на лазерното лъчение, т.е. тези енергетични и експозиционни стойности, които са свързани с опасностите за човека.

Пределнодопустимите нива са необходими, за да се провери дали зададените или изчислени стойности на плътностите на мощност или енергия на снопа на работното място са потенциално опасни или не. В различните нормативни документи, освен ПДН се използват и термините гранична стойности на експозиция (в Наредба №5/2010 г) и граница/гранична стойност за достъпното лъчение (в документите на МЕК терминът accessible emission limit AEL/maximum accessible emission permitted within a particular class).

Първоначално Американският институт по стандарти (ANSI) разработва стандарт за лазерна защита през 1982 г., който се въвежда у нас през 1986 г. чрез 2 наредби. Този стандарт е възприет от почти всички страни в света (освен в бившия СССР и в някои други страни от Изтока (Китай, Корея, Япония), като в него се дефинират 4 класа лазери и лазерни системи:

Клас 1 – лазери с най-ниска мощност, които не представляват опасност за човека. Това определение е в смисъл, че дори при пряко наблюдение на директния лазерен сноп, енергетичните стойности на лъчението са под ПДН.

В случаите, когато лазерният сноп е с по-голяма разходимост (лазерни диоди, лазерни диодни решетки и др.), максимално допустимите стойности за клас 1 се дефинират също от изходната мощност или енергия на лъчението, като снопът се фокусира през идеална оптична система с входна апертура 80 mm и изходна 7 mm - диаметъра на отворена зеница на окото. В този случай след фокусирането, плътността на енергията или плътността на мощността, попаднали в окото, също не трябва да надвишават ПДН. Този начин за дефиниране на клас 1 съответства на „най-лошия случай“ при облъчване на очите - когато цялата енергия на лазерното лъчение се фокусира в зеницата на окото.

Например за лазерите с непрекъснато излъчване максималната мощност, определяща клас 1 в зависимост от дължината на вълната, е $0,8 \cdot 10^{-9}$ - $8 \cdot 10^{-6}$ W за ултравиолетовия диапазон; $0,4 \cdot 10^{-6}$ - $2 \cdot 10^{-4}$ W за видимия и част от близкия инфрачервен диапазон (до $1,06 \mu\text{m}$) и от $2 \cdot 10^{-4}$ до 0,1 W за диапазона $1,06 \mu\text{m}$ до 1 mm. За лазери с импулсно излъчване максимално допустимите стойности на енергията на импулса се определят по подобен начин.

Към клас 1 се причисляват и лазерни системи, при които лазерният сноп е напълно екраниран. При това лазерното устройство, независимо че не е с „най-ниска мощност“ на излъчване, то е безопасно за човека. Примери за подобни лазери са лазерните принтери, както и устройствата със CD или DVD.

Клас 2 – към клас 2 принадлежат нискомощните лазери и лазерни системи от видимия диапазон. Лазерните лъчения от този клас са опасни за очите при вътрелъчево наблюдение на директния или огледално отразен лазерен сноп. Максималната мощност, определяща принадлежността на даден лазер към клас 2, е 1 mW.

Клас 3 – към този клас принадлежат средномощните лазери и лазерни системи. Лъченията им създават опасност за очите при наблюдение на прекия, огледално отразения, а също и на дифузно отразения лазерен сноп.

Клас 3 обхваща лазерни системи, излъчващи в ултравиолетовия, видимия и инфрачервения диапазон. За лазерите с непрекъснато излъчване максимално допустимата мощност е 0,5 W, а за тези с импулсно излъчване максимално-допустимата плътност на енергията е $10 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Клас 3 се разделя на два подкласа – **3А** и **3В**. Към клас **3А** се включват лазери само от видимия диапазон. Лъчението им не предизвиква изгаряния при попадане на снопа в незащитено око, но може да доведе до опасност за ретината, ако цялата енергия се фокусира в окото през оптична система. Към клас **3В** принадлежат лазери, чието лъчение предизвиква изгаряния на очите при вътрелъчево наблюдение на прекия или огледално отразен сноп, включително и при случайна краткотрайна експозиция.

От определенията на двата подкласа е ясно, че по потенциален риск клас 3А се приближава до клас 2.

Клас 4 – това са лазерни системи с висока мощност, чиито лъчения са опасни както за очите, така и за кожата при попадане върху тях на прекия, огледално и дифузно отразения лазерен лъч. Основната дефиниция за клас 4 е, че те са **пожаро- и взривоопасни**. За лазери с непрекъснато лъчение мощността на излъчване трябва да е по-голяма от 0,5W, а за тези с импулсно лъчение плътността на енергията трябва да е над $10 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$, за да се класифицира източникът в този клас.

В последните години, в новите издания на Международната електротехническа комисия (2007, 2014 г.) класовете на лазерните системи са преразгледани, като са отчетени новите изследвания на биологичните ефекти на оптичните лазерни лъчения, в частност импулсните "extended sources" (неточковите източници¹) източници, както и новите лазерни продукти на пазара и тяхното приложение.

В класификационната схема са направени следните промени в класовете лазерни системи. Добавени са класове 1C, 1M, 2M, 3R. Клас 3A е премахнат. Тук ще разгледаме по-подробно новите класове лазерни системи:

Клас 1C – към този клас принадлежат лазерите, чието предназначение е да се прилагат в контакт с кожата или други не очни вътрешни тъкани и за които опасността за очите по време на работа се избягва с инженерни мерки, т.е. достъпното лъчение се изключва или намалява до под ПДН за клас 1, когато лазерът/апликаторът не е в контакт с кожата или друга неочна тъкан. По време на работа, когато е в контакт с кожата или друга тъкан, плътността на мощността или енергетичната доза може да надвишава ПДН за кожата, колкото е необходимо за предвидената лечебна процедура. Трябва да се отбележи, че лазерното лъчение на клас 1C може да бъде потенциално опасно за таргетната/обработваната тъкан. Разработването на специални ограничения за емисиите на лазера в условия на контакт, обаче, е обект на приложимите вертикални стандарти.

Клас 1C обхваща лазери, използвани за медицински, диагностични, терапевтични или козметични процедури, като епилация, намаляване на бръчки, третиране на акне. Тук както и при лазерните системи с напълно екраниран сноп излъченото лазерно лъчение може да е от класове 3R, 3B или 4, но въпреки това експозицията на очите се избягва чрез различни инженерни мерки. Този клас лазери е въведен в класификационната схема, тъй като на пазара съществуват продукти от този вид и защитните мерки, определени за класове 3B или 4, не са подходящи за тях.

¹ Опасността за очите от неточкови източници зависи от геометричния размер на източника и от устройствата за изображение, използвани между източника и окото.

Клас 1M – към този клас принадлежат лазерите, излъчващи в диапазона от 302,5 nm до 4 000 nm и които при използване не позволяват достъп на човека до лазерно лъчение, надвишаващо ПДН за клас 1 за приложимите дължини на вълната и продължителност на експозицията. Клас 1M лазери са безопасни за директно вътрелъчево наблюдение от невъоръжено око в разумно предвидими условия на работа, но могат да бъдат опасни, ако потребителят използва оптични устройства за наблюдение, като например лупи или телескопи.

Диапазонът от дължини на вълната за лазерите от клас 1M съответства на спектралния диапазон, в който има значително пропускане на стъклените оптични материали, използвани в оптичните устройства.

Вътрелъчево наблюдение на лазери от клас 1M може да причини заслепяване, по-специално в условията на ниска осветеност на заобикалящата среда.

Клас 2M – към този клас принадлежат лазерите, излъчващи в диапазона от 400 nm до 700 nm и които при използване не позволяват достъп на човека до лазерно лъчение, надвишаващо ПДН за клас 2 за приложимите дължини на вълната и продължителност на експозицията. Клас 2M лазери са безопасни за краткотрайна експозиция само на невъоръжено око, но са потенциално опасни, когато се наблюдават с оптични устройства, като например телескоп или бинокъл. Защитата на очите обикновено се осигурява от естествена непоностимост/отвращение на окото към ярка светлина, включително и от мигателния рефлекс.

Клас 3R – към този клас принадлежат лазерите, чиито лъчения надвишават ПДН при вътрелъчево наблюдение, но рискът от увреждане в повечето случаи е относително нисък. ПДН за клас 3R са ограничени до 5 пъти ПДН за Клас 2 (видимо лазерно лъчение) или 5 пъти ПДН за Клас 1 (за невидимо лазерно лъчение). Поради по-ниския риск към клас 3R има по-малки изисквания към производителите и мерките за контрол за потребителя, отколкото тези приложими за клас 3B.

Лазерните системи от клас 3R не могат принципно да се считат за безопасни, но при тях рискът е ограничен, защото неволните експозиции рядко ще отразяват най-лошия случай на облъчване. Например при насочване на лъча в окото при отворена зеница, т.е. попадане на цялата енергия на лазерното лъчение в окото, ще има естествено намаляване на експозицията поради рефлекс на отвращение/непоносимост към ярка светлина във видимия диапазон и реакцията на роговицата на нагриване от лъчение в далечния инфрачервен диапазон. Рискът от увреждане нараства с увеличаване на продължителността на експозицията, като експозицията може да бъде опасна за очите при най-лошия случай на умишлено вътрелъчево наблюдение. Поради вариациите на риска, които са присъщи на лазери от клас 3R, в инструкциите за потребителя към системата следва ясно да бъдат описани специфичните мерки за контрол (включително административни мерки и лични предпазни средства за очите). Както се вижда, този клас напълно съответства на въведения в нашите наредби от 1986 г. клас 3A за видимия диапазон.

Класификационната схема позволява да се вземат **правилни и ефективни защитни мерки** за персонала, намиращ се в сферата на въздействието на лазерните лъчи. Тя обаче не е достатъчна за пълна оценка на обстановката, в която ще се прилагат профилактичните мероприятия.

Вторият етап на лазерната защита включва оценка на конкретните условия, при които излъчва лазерът.

Преди всичко се определя трасето на лазерния сноп в помещението. Това е елементарна задача, като се знае разходимостта на снопа и диаметърът му, след като лазерното устройство е монтирано на стабилна платформа. Извършват се, ако е необходимо, пресмятания на плътността на енергията и плътността на мощността на работното място по посочените в норма по-горе методи.

Следващата стъпка е да се оценят огледално отразяващите повърхности по трасето на снопа (оптика, метални и други гладки повърхности). По този начин се определят всички

работни места, на които попада директен или огледално отразен сноп.

В случай че лазерният сноп се фокусира през оптична система, се оценява и опасността от дифузни отражения на снопа (разбира се, само при лазерни системи от клас 3B и 4). Дифузните отражения са опасни само при клас 3B и 4 - средно и високомощни лазерни системи.

Оценяват се и допълнителните (нелазерни) вредни фактори в работната среда: токсични вещества, отделяни от мишената, от криогенни течности или при обработка на биологични и други материали; радиочестотни електромагнитни полета, излъчвани от захранващите устройства, от газовата плазма и др.; оптическо лъчение с голяма яркост от импулсните лампи за „напомпване“ на лазера; рентгеново лъчение, излъчвано от захранващите устройства с напрежение над 15 kV във вакуум; импулсен шум при мощни лазерни системи и т.н.

Третият етап е свързан с оценка на опасността за персонала, подложен на облъчване, и за лица, които попадат в зоната на лъчението - пациенти, лекари, лица, обслужващи и поддържащи лазерните устройства и др. В основата на тази оценка са класификацията на лазерната система, конкретните условия за излъчване на лазера, квалификацията на персонала.

За обслужващия лазерите персонал е необходимо да знае най-общо следното:

- да владее инструкциите за работа с лазерите;
- да има достатъчно опит по прилагане на лазерните системи в съответната област;
- да познава методите за оценка на професионалния риск от лазерни лъчения;
- да владее методите за лазерна защита.

Тези изисквания за персонала са задължителни според нормативните документи у нас за безопасна работа с лазери. Те включват наличие на „специалист, отговарящ за лазерната безопасност“ в работната среда с лазерни системи от класовете 3B и 4, както и основен курс с последващи опресняващи едnodневни обучения на всеки 2 години, както и при промяна на условията за облъчване на персонала.

Защитни мерки срещу лазерните лъчения

Повечето профилактични мерки срещу лазерните лъчения са от елементарно естество и са лесно постижими технически или организационно. Те се базират на класа лазерна система.

Например лазерите от клас 1 са с най-ниска мощност (под ПДН) и изискванията за безопасност се свеждат само до мерки, които да не позволяват продължително вътрелъчево наблюдение на снопа. Прилагат се блокировки на екраните при напълно екранираните лазерни системи.

По подобен начин, профилактичните мерки при лазерни системи от клас 2 са свързани със защита на очите от директния и огледално отразения лазерен сноп.

За клас 3 тези изисквания се разширяват и за дифузно отразения лазерен сноп, а за клас 4 защитата се отнася както за очите, така и за кожата на човека, а също и до защита от пожар и взрив в работното помещение.

Профилактичните мерки включват различни технически, организационни и административни решения, като:

- да не се насочва лазерният сноп към очите на човека;
- настройването на лазерите да се извършва само с измервателна апаратура, а не чрез директно наблюдение на лъча;
- да се намалява мощността на излъчване, когато не е необходима пълната изходна мощност;
- да се екранира трасето на лазерния сноп;
- да се осигурят защитни филтри, диафрагми и атенюатори при работа с оптични системи;
- да се поставят подходящи табели на вратата на помещението и на лазерната глава в зависимост от професионалния риск, а също така светлинна и звукова сигнализация по време на излъчването;
- да не се работи в лазерноопасната зона без защитни очила;
- квалификацията на персонала да отговаря на необходимите изисквания; да се използват дистанционни системи за включване на лазера; да се отстранят отразяващите предмети по пътя на лазерния сноп и т.н.

При използване на лазерни системи от клас 3В и 4, каквито най-често се срещат в медицинската практика, трябва да се прилагат профилактични мероприятия и спрямо другите допълнителни вредни фактори на работната среда, включително такива по електро-, пожаро- и взривобезопасност; осветлението и оцветяването на помещенията да отговарят на съответните изисквания; да се спазват наредбите за работа с криогенни течности и т.н.

Индивидуални защитни средства се използват само в случаите, когато се работи в лазероопасна зона с лазери от клас 3 и 4.

Подборът на защитните очила се извършва въз основа на характеристиките на филтъра на очилата и на лъчението: дължина на вълната, плътност на мощност или плътност на енергия на лазерното лъчение, пределно допустими нива за съответното лъчение, оптична плътност на очилата за излъчваните дължини на вълните, изисквания за преминаване на минимум 25% от видимата светлина през лещите, необходимост от оптична корекция, ергономични изисквания, устойчивост на поглъщащата среда от разрушаване, вследствие високата плътност на енергията на лазерния сноп или от други фактори на работната среда.

Защитното облекло следва да е от поглъщаща лазерното лъчение материя, тъмно оцветено, а за лазерни системи от клас 4 - огнеустойчиво и предпазващо от топлината. Използват се костюми, ръкавици, щитове и др. в зависимост от това, коя част от тялото може да попадне в зоната на опасни за кожата лъчения.

При използването на лазери в медицината е необходимо да се вземат мерки за защита не само на обслужващия персонал, но и на пациентите.

Екраниране се прави на тези части на оператора, върху които може да попадне дифузно отразен лъч от пациента (ако лазерът е от класове 3В и 4). Защитни средства трябва да ползват пациентите и за тези части от очите или кожата, които не са обект на третиране с цел лечение.

В медицинските заведения изискванията за блокировка на вратите на помещенията, в които излъчват лазерни системи от клас 4 и за недопускане на лица, непряко заети в об-

служването на лазери от 2, 3 и 4 клас, не могат стриктно да се прилагат. Поради това изискванията за безопасност за всеки клас лазерна система трябва да се прилагат съобразно с конкретната обстановка на излъчване и в зависимост от приложението на лазера.

В някои случаи, обслужващият медицински персонал се облъчва с отразено лазерно лъчение и не е възможно да се ползват защитни очила. При такива случаи трябва да се прилагат профилактични мерки в зависимост от конкретните условия на излъчване и приложение на лазера, а също да се спазват специални режими на труд и почивка.

Когато не могат да се приложат защитни мерки според съответния клас лазерна система и персоналът може да е в зона с опасност от инцидентни облъчвания над ПДН, трябва да се въведат определени трудово-правни изисквания, свързани с категорията на работещите в тези условия и с намаляване на времето на работа в условия, увеличаващи професионалния риск.

В Таблица 15 са обобщени защитните мерки за контрол, в зависимост от класа на лазерната система, съгласно изискванията на Наредба №5/2010 г. (Директива 2006/25/ЕК).

Таблица 15. Обобщение на изискваните мерки за контрол, в зависимост от класа на лазерната система

	Клас 1	Клас 1М	Клас 2	Клас 2М	Клас 3R	Клас 3В	Клас 4
Описание на класа опасност	Безопасни при разумни предвидими обстоятелства	Безопасни за невъоръжено око; могат да бъдат опасни, ако потребителят използва оптика	Безопасни за краткотрайни експозиции; защитата на око се осигурява от реакцията на отвращение	Безопасни за невъоръжено око за краткотрайни експозиции; могат да бъдат опасни, ако потребителят използва оптика	Рискът от увреждане е относително нисък, но може да бъде опасно при неправилна употреба от необучени лица	Директното и дифузното наблюдение е опасно	Опасни за очите и кожата; пожароопасни
Контролирана област	Не се изисква	Локализирана или затворена	Не се изисква	Локализирана или затворена	затворена	Затворена и защитена с блокировка	Затворена и защитена с блокировка
Защитни ключове	Не се изискват	Не се изискват	Не се изискват	Не се изискват	Не се изискват	Изискват се	Изискват се
Обучение	Следвайте инструкцията на производителя за безопасна употреба	Препоръчва се	Следвайте инструкцията на производителя за безопасна употреба	Препоръчва се	Изисква се	Изисква се	Изисква се
ЛПС	Не се изисква	Не се изискват	Не се изискват	Не се изисква	Може да се изисква обект на наводките от оценката на риска	Изисква се	Изисква се
Защитни мерки	Не са необходими при нормална употреба	Предотвратява се употребата на увеличителна, фокусираща или колимираща оптика	Не гледайте в снопа	Не гледайте в снопа; Предотвратете употребата на увеличителна, фокусираща или колимираща оптика	Предотвратява се директната експозиция на очите	Предотвратява се директната експозиция на очите и кожата. Предпазване от непреднамерени отражения	Предотвратява се експозицията на очите и кожата с директен и отразен лазерен лъч.

В таблицата не са представени защитни мерки за клас 1С, тъй като този клас е въведен след въвеждане на цитираните нормативни документи.

Други (нелазерни) вредни фактори на работната среда

Освен лазерните лъчения в работната среда, където излъчват мощни лазерни системи, има и други вредни фактори. Те са различни в зависимост от типа на лазера, мощността, режима на излъчване, типа на захранването му, метода за напompване на активната среда, използваната мишена и др.

Най-голям е рискът от електрически изгаряния при мощните лазери, които се захранват от устройства с високо напрежение. Някои импулсни лазери се запалват от разреждането на кондензаторния блок, зареден до високо напрежение. Много често след разреждането кондензаторният блок остава зареден с част от номиналния си заряд, което го прави електроопасен.

Други лазерни системи се захранват с токове с висока честота и ако не са добре екранирани, в работната среда се излъчват радиочестотни електромагнитни полета.

Импулсните лампи за оптическо „напompване“ на някои лазери излъчват нелазерно оптично лъчение с много висока яркост във видимия и УВ спектрален диапазон, което е опасно за очите.

В работната среда, където излъчват мощни импулсни лазери, се създава импулсен шум, достигащ в някои случаи до 120 dB.

Освен това, при наличие на високоволтни уредби с напрежение над 15 kV във вакуум, се генерира рентгеново лъчение, което също може да е опасно за човека, ако не са взети съответните профилактични мерки.

Някои мощни лазери се охлаждат с нискотемпературни (криогенни) течности - хелий, азот, водород, кислород и др. Те могат да доведат до изгаряния на очите и кожата на човека, а също и до пожари и експлозии.

Във въздуха на работната среда се откриват и вредни токсични вещества, отделяни от изпарения материал на мишената (биологичния обект, който се обработва с лазерния сноп) - CO, CO₂, озон, бромин, хлорин, цианови съединения и др., както и от криогенните устройства за охлаждане на мощните лазерни системи.

Медицинска профилактика на работещите с лазери

Персоналът, работещ в условия на лазерни лъчения, трябва периодически да преминава през медицинско наблюдение. За целта се диспансеризират всички работещи с лазери.

Периодичните наблюдения включват изследвания главно на очния анализатор: зрителна острота, тестове за функциите на макулата, контрастна чувствителност, изследване на очния фундус. Освен това се правят и дерматологични изследвания.

Медицинските прегледи се извършват с период 1 година, при постъпване на работа, при инцидентно облъчване на очите или кожата с наднормени стойности на лазерно лъчение.

Необходимо е периодичните медицински прегледи да включват изследвания от невролог, кардиолог, психолог, имунолог, гинеколог и др., с цел откриване на възможните ефекти от хроничното въздействие на лазерното лъчение върху сърдечносъдовата, половата, централната и вегетативната нервна система, имунологичната реактивност на организма и др.

Използваните методи за медицински изследвания са определени с нормативни документи в голям брой страни, като у нас това е Наредба № 3 за задължителните предварителни и периодични медицински прегледи на работниците.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Наредба № 3 за задължителните предварителни и периодични медицински прегледи на работниците, Обн. ДВ. бр.16 от 1987г., изм. ДВ. бр.65/1991г., изм. ДВ. бр.102/1994г., изм. ДВ. бр.78/2005г.
2. Приложение на лазерите в клиничната практика, под ред. на доц. В. Танев, изд. „Мед. и физк.“, София, 1988.
3. Ст. Динев – Лазерите в модерните технологии, изд. „Алфа“, С., 1993 г.
4. D. Sliney, M. Wolbarsht – Lasers and other optical sources, NY and London, 1981.
5. ICNIRP Guidelines on Limits of Exposure to Laser Radiation of Wavelengths between 180 nm and 1,000 μm ; Health Physics 105(3):271-295; 2013
6. IEC 60825-1:2014: Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements БДС EN 60825-1: 2015: Безопасност на лазерни съоръжения. Част 1: Класификация на съоръженията и изисквания (IEC 60825-1:2014)
7. J. Carruth, A. McKenzie - Medical lasers, Science and clinical practice, Southampton University Hospitals, Adam Hilger Ltd., Bristol and Boston, 1986.
8. Non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC „artificial optical radiation“, ISBN: 978-92-79-16046-2; DOI: 10.2767/74218

РЪКОВОДСТВО
ПО ЗАЩИТА ОТ НЕЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЕ
НЕЙОНИЗИРАЩЕ ЛЪЧЕНИЕ, ЧОВЕКЪТ И ОКОЛНАТА СРЕДА

Научна редакция:
Проф. Мишел С. Израел, дм

Обработка на фигури: Христина Петкова
Стилов редактор и коректор: Татяна Каранешева
Дизайн и предпечат: Боряна Мекушина

Печат:
„Инфо Трейнинг“ ООД

Издава:
© МЗ - НАЦИОНАЛЕН ЦЕНТЪР ПО ОБЩЕСТВЕНО ЗДРАВЕ И АНАЛИЗИ, 2017

ISBN 978-954-8404-35-8

Ръководството по защита от нейонизиращи лъчения съдържа съвременна информация, резултати, разсъждения и мисли, базирани на дългогодишните проучвания на автора и създадената от него лаборатория „Физически фактори“, свързани с целия спектър на нейонизиращите лъчения, въздействието им върху човека, методите за оценка на експозицията и риска, и методите за намаляване на това въздействие, както и анализ на политиката за защита на здравето.

Ръководството е разработено по проект „Подобряване на контрола и информационните системи за превенция на риска в здравеопазването“ по Програма BG 07 „Инициативи за обществено здраве“, с финансовата подкрепа на Норвежкия финансов механизъм (НФМ) 2009-2014 г. и финансовия механизъм на Европейското икономическо пространство (ФМ на ЕИП) 2009-2014 г.



Издание на Национален център по обществено здраве и анализи,
по Програма BG 07 "Инициативи обществено здраве"
с финансовото участие на Норвежкия финансов механизъм 2009-2014 г.
и финансов механизъм на ЕИП за периода 2009-2014 г.