ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ ПОЛЕТА: НАСТОЯЩИ И БЪДЕЩИ ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ЗА БЕЗОПАСНОСТТА И ЗДРАВЕТО ПРИ РАБОТА

Въведение

Без мирис, недоловими и невидими, електромагнитните полета (ЕМП) — излъчвани от мобилни телефони, радиоантени, Wi-Fi рутери, електропроводи и т.н. — са навсякъде в съвременното общество. Броят и разнообразието на източниците на ЕМП в домовете, обществените места и работните места се увеличава с течение на времето. Наистина, през последните години широко се разпространиха нови технологии, основани на ЕМП, като ново поколение технологии за мобилни телефони (петото, известно още като 5G поколение технологии), безконтактно прехвърляне на енергия и няколко медицински приложения. Напредъкът в развитието на безжичните технологии се счита за ключова движеща сила за цифровизацията на труда[1] и за петата индустриална революция (ЕК, 2022 г.). Този напредък оказва въздействие върху много области, свързани с бъдещето на труда[2], например интернет на нещата (IoT), хибридната и виртуалната работна среда. Те също така играят ключова роля в автономното управление на превозни средства, безпилотните летателни апарати (БЛА), сензорните технологии и високопроизводителната роботика. Поради повсеместното наличие на източници на ЕМП обаче, дискусията около ЕМП се превърна в област от нарастващ интерес както в научните среди, така и сред населението. Освен това, поради бързото им внедряване и все по-честото им използване в професионалните среди, Европейската комисия (ЕК) наскоро подчерта необходимостта от анализ на експозицията на служителите на ЕМП, както и на възможните неблагоприятни за здравето последици от експозицията на ЕМП (ЕК, 2021 г.).

Настоящият документ има за цел да установи възникващите и бъдещите тенденции за развитие на професионалните приложения на ЕМП и техните потенциални последици за безопасността и здравето при работа (БЗР). Той също така има за цел да подчертае пропуските в познанията по отношение на (безопасните) нива на експозиция. Освен това в документа се съдържат препоръки за работниците и работодателите, специалистите в сферата на здравето и безопасността и създателите на политики, за да се сведат до минимум рисковете, свързани с експозицията на ЕМП. За информация относно косвените рискове за БЗР и ползите от приложенията, свързани с бъдещето на труда, които станаха възможни благодарение на ЕМП, са посочени съответните публикации на EU-OSHA[1,2].

Какво представляват електромагнитните полета?

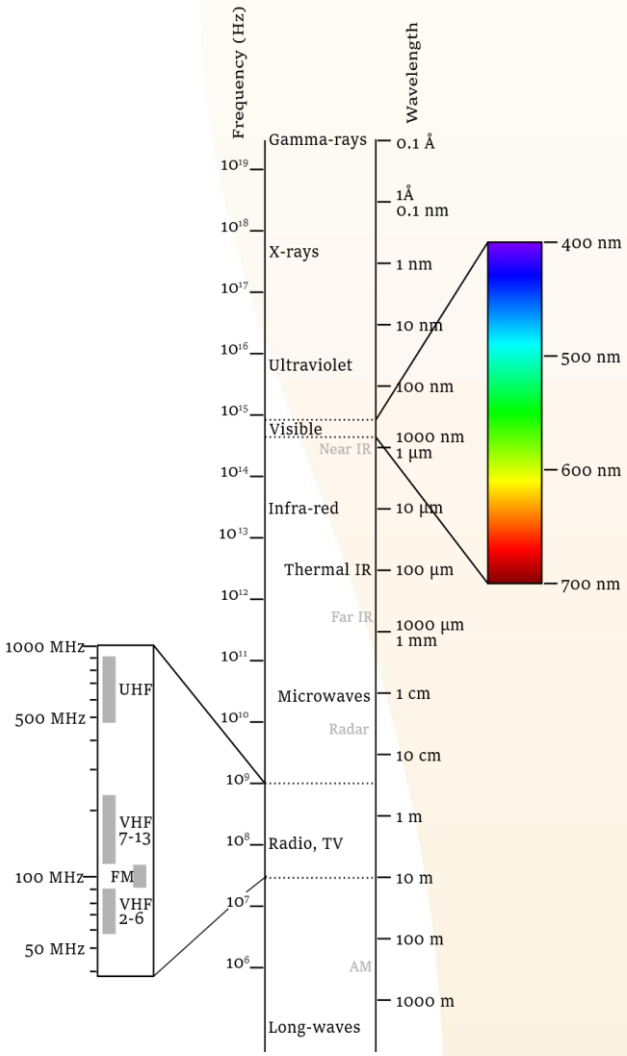
По същество ЕМП се генерират от движещи се електрически заряди и се разпространяват като комбинация от осцилиращи електрически и магнитни вълни със скоростта на светлината. Електрическото поле възниква от силите, които заредените частици упражняват една върху друга, докато магнитното поле се създава от движещи се заряди (електрически ток). Електромагнитните полета се характеризират с честота или дължина на вълната, характеристики на сигнала и интензитет. Честотата, измерена в херцове (Hz), се отнася до броя на циклите, които вълната завършва в секунда. Дължината на вълната, измерена в метри (m), е разстоянието между два върха на вълната. Характеристиките на сигнала се отнасят например за непрекъснати синусоидални или импулсни ЕМП. Интензитетът е енергията на вълната, корелирана с амплитудата (височината на върха) на вълната. Нивото на експозиция е

[1] Вж.: https://osha.europa.eu/en/themes/digitalisation-work

[2] Вж. документите за обсъждане на EU-OSHA, в които се разглеждат теми, свързани с бъдещето на труда, на адрес: https://osha.europa.eu/en/publications?f%5B0%5D=facet_tags%3A51&f%5B1%5D=publication_type%3A9&search_api_fulltext=&search_api_language_1%5B0%5D=en&sort_by=field_publication_date

интензитетът на попадащата на мястото на тялото вълна, обикновено претеглено (осреднено) по време, обем и/или пространство за определен период, повърхност и/или обем. Това ниво се измерва по отношение на плътността на мощността (във ватове на квадратен метър) или интензитета на електрическото поле (във волтове на метър). Честотата и дължината на вълната са свързани обратнопропорционално (фигура 1): дължината на вълната (в метри) може да се изчисли, като скоростта на светлината (30 милиона метра в секунда, във вакуум) се раздели на честотата (в херцове, Hz). Имайте предвид, че обикновено електрическото и магнитното поле са свързани на разстояния, по-големи от 10 дължини на вълната, от източника; тази област се нарича далечна зона на полето.

Фигура 1: Електромагнитният спектър



Обхватът на извънредно ниските честоти (ИНЧ) и част от обхвата на междинните честоти (МЧ) (1 Hz—100 kHz) не са включени в тази фигура.
Списък на съкращенията: MHz = мегахерц, като Hz е единицата за честота, която показва броя на циклите/синусоидалните вълни в секунда; UHF = свръхвисока честота, VHF = много висока честота; AM = амплитудна модулация; FM = честотна модулация; IR = инфрачервен; m = метър, cm = сантиметър; mm = милиметър; µm = микрометър, nm = нанометър, Å = ангстрьом = 0,1 nm.

Източник: Wikimedia Commons [Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 Generic license]

Съществуват както естествени, така и създадени от човека източници на ЕМП. Най-общо казано, създадените от човека източници излъчват ЕМП, които се управляват така, че да предават информация или енергия. Практическото им приложение обаче е толкова разнообразно, колкото

и честотата им: от извънредно ниски честоти (ИНЧ, т.е. честоти в обхват от 1 Hz до 300 Hz), използвани при производството на електроенергия, през междинни честоти (МЧ, т.е. честоти в обхват от 300 Hz до 10 MHz, като 1 MHz = 10^6 Hz; фигура 1) до радиочестоти (РЧ, т.е. честоти в обхват от 10 MHz до 300 GHz, като 1 GHz = 10^9 Hz; фигура 1), използвани в приложения за радарна връзка и мобилни комуникации.

Важно е да се отбележи, че в този документ се разглеждат само ЕМП с честоти до няколко терахерца (като 1 THz = 10^{12} Hz, фигура1), т.нар. радиовълни (Международен съюз по далекосъобщения (МСД), 2020 г.), които са разположени под областта на видимата светлина и попадат в рамките на частта от спектъра, която се счита за нейонизираща, например онези от тях, в които липсва енергия за отстраняване на плътно свързани електрони от атоми или молекули (което може да доведе до увреждане на молекулите и последици за здравето). Това означава, че тук не се разглеждат други добре известни части от електромагнитния спектър освен инфрачервената и видимата светлина, като ултравиолетовото лъчение, рентгеновите лъчи и гама лъчите.

Последни тенденции в развитието на ЕМП на работното място

Мобилни комуникационни мрежи

Петото поколение телекомуникационни мрежи (5G) работи при неизползвани преди това честоти, някои от които са значително по-високи от използваните при предишни поколения (до 71 GHz, като 1 GHz = 10^9 Hz), фигура 1). То въвежда технологични подобрения, които позволяват повече потребители да бъдат обслужвани едновременно от една и съща базова станция. Това се постига чрез разделяне на предаваната енергия в пространството и фокусирането ѝ под формата на лъч към потребителите. В повечето европейски държави регулаторните органи вече са разпределили новите честотни капацитети чрез търгове.

Внедряването на 5G мрежите в световен мащаб беше посрещнато с обществено безпокойство по отношение на предполагаемите рискове за здравето поради прогнозирано нарастване на общата експозиция на ЕМП и използването на по-високи честоти (чиито възможни биологични ефекти все още не са проучени задълбочено), както и с дезинформация и дори с актове на вандализъм срещу инфраструктурата (МСД, 2021 г.). Въпреки че добавянето на 5G мрежи наистина би могло да увеличи общата експозиция на ЕМП, се очаква тази ситуация да продължи, докато мрежите от предишно поколение останат в експлоатация (Научен комитет по здравни, екологични и възникващи рискове (НКЗЕВР), 2023a). За да се разсеят опасенията на обществеността относно 5G мрежите и за да се проследи действителното въздействие върху общата експозиция на радиочестотни електромагнитни полета (РЧ ЕМП), програма „Хоризонт“ на ЕС финансира четири международни проучвания, с които да се оцени въздействието от внедряването на 5G мрежата върху здравето и околната среда, както и в професионална среда[3]. Тези проекти започнаха през 2022 г. и ще приключат между 2025 и 2027 г.

При по-високи честоти са необходими все по-голям брой базови станции, за да се поддържат висококачествени безжични връзки. Поради това се използват малки клетъчни базови станции, поставени върху дървета, улични лампи или сгради на едва няколкостотин метра една от друга (НКЗЕВР, 2023a). Малките клетки също така се използват все повече в частни/корпоративни мрежи[4] и се внедряват в големи фабрики, производствени халета, летища, пристанища, кампуси и т.н.

Комбинирането на техники на предаване, по-високи честоти и едновременно уплътняване на мрежата при 5G мрежите позволява безжична комуникация с (много) висока пропускателна способност на данните и (свръх)малко закъснение — два аспекта, които я превръщат в ключов фактор за цифровизацията на труда и за много бъдещи приложения в областта на труда. Очаква се обаче, че технологичните иновации, които се въвеждат с 5G мрежата, ще се реализират напълно едва в следващото поколение 6G мрежи, чието пускане на пазара е планирано за

[3] Вж.: https://www.emf-health-cluster.eu/
[4] Частните/корпоративните 5G мрежи не са обществено достъпни и са много сигурни.

2030 г. Във водещия проект на ЕС Hexa-X[5] дори се предвижда 6G мрежата да се превърне в технология с общо предназначение (ТОП), а не просто в базова технология, която дава възможност за (напълно потапящо) телеприсъствие, като например метавселената, мащабен туининг (т.е. информационни табла в реално време и виртуални модели на устройства и (производствени) съоръжения), електронно здравеопазване за всички, коботи (т.е. роботи, подпомагащи хората при изпълнението на техните задачи) и пълно интегриране на интернет на нещата, с множество датчици, върху тялото и извън него. Това означава, че се очаква 6G мрежата да има огромно въздействие върху обществените и промишлените трансформации (пета индустриална революция). За тази цел 6G мрежата ще използва части от радиочестотния спектър много повече отколкото той се използва или ще се използва от 5G мрежата (над 100 GHz), което не само позволява свръхвисока пропускателна способност, но и позволява локализиране и засичане на ниво сантиметър.

Енергиен преход

Текущият преход към възобновяеми енергийни източници изисква разширяване и модернизиране на електроенергийната мрежа (например чрез изграждане на високоволтови линии и инверторни станции), както и подобряване на мониторинга на моментната консумация на енергия на индивидуално равнище (например чрез безжична мрежа от сензори, наречени „интелигентни измервателни уреди“). Рисковете от експозиция на работниците (напр. строители, електротехници и инженери по поддръжката) и на работниците, участващи в разработването и поддържането на нова (енергийна) инфраструктура, с потенциално висока експозиция поради работа с високи токове, са добре известни, а работниците в електроцентралите изглежда са добре запознати с рисковете и как да се защитят (Stege et al., 2020 г.), въпреки че е възможно подизпълнителите в електроцентралите да не са напълно наясно, служителите в областта на здравето, безопасността и околната среда ще могат да ги инструктират. Освен това интелигентните измервателни уреди обикновено допринасят малко за общата експозиция на РЧ ЕМП поради тяхното слабо предаване и специфични местоположения (Aerts et al., 2019 г.). В заключение ще отбележим, че (промишлените) отоплителни инсталации все по-често преминават от въглеводородни горива към електрическа индукция, което води до появата на повече източници на нискочестотни магнитни полета, които потенциално могат да бъдат с висока интензивност, но могат да се поддържат значително под граничните стойности на експозиция (ЕС, 2015а, б).

Безконтактно прехвърляне на енергия

Безконтактното прехвърляне на енергия (БПЕ) възникна като водеща технология за презареждане на лични устройства (например смартфони и лаптопи, но също и електрически инструменти), като в момента се проучва или внедрява и за употреба при медицински изделия (например пейсмейкъри), електрически превозни средства, дронове и други автономни превозни средства/роботи за промишлена употреба. При БПЕ се използват или фокусирани радиочестотни ЕМП (лъчи), или индуктивни или резонансни технологии, които излъчват ЕМП при честоти между 10 kHz и 50 MHz (Европейски институт за стандарти в далекосъобщенията (ETSI), 2019 г.). В първия случай енергията, предавана през въздуха, позволява непрекъсната работа на устройства, машини, роботи и дронове. В професионална среда БПЕ се прилага главно в секторите на поддръжката и ремонта, промишленото производство, транспорта и логистиката и във всички сектори, в които има работни места, където се използва (мобилна) роботика. Безжичното зареждане на превозни средства също така ще се разгърне в по-голям мащаб чрез интегрирането му в (крайпътната) инфраструктура. Например различни превозни средства, като автомобили, автобуси и камиони, вече се зареждат чрез вериги[6] на паркинги и автобусни спирки. Освен това в (близко) бъдеще веригите за зареждане ще бъдат интегрирани в пътищата с цел непрекъснато зареждане на превозните средства в движение. Неотдавнашни проучвания — макар и да не са проведени в професионална среда — показват, че експозицията на намиращи се в близост системи за БПЕ е по-ниска от граничните стойности на експозиция (Stam, 2022 г.). Въпреки това увеличението в бъдеще на мощността на системите, например за

[5] Вж.: https://hexa-x.eu/. Европейската комисия стартира различни водещи инициативи, за да се справи с големите предизвикателства в областта на науката и технологиите и за да стимулира иновациите в ЕС: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/flagships.

[6] Веригите за зареждане предават енергията безжично чрез електромагнитна индукция. Този метод намира широко приложение и в домакински уреди, като електрически четки за зъби и безжични подложки за зареждане за смартфони.

зареждане на големи електрически превозни средства, може да доведе до повишена експозиция, особено в професионална среда.

Здравеопазване

В здравеопазването приложенията на ЕМП показват тенденция на развитие към по-точни и все по-мощни методи, като често се използват по-високи честоти, фокусирани лъчи и/или по-високи (локализирани) мощности. Новите разработки в областта на инструментите за диагностика включват изобразяване на магнитни частици (5—50 kHz) (Billings et al., 2021 г.) — което би могло значително да увеличи експозицията на медицинските работници — радари за повърхностно изобразяване (1—60 GHz) (de Waard-Schalkx et al., 2015 г.) и наблюдение на жизнените показатели (до 120 GHz) (Cardillo and Caddemi, 2020 г.) и терахерцови честоти за изобразяване, спектроскопия и лечение (Amini et al., 2021 г.). Освен това новите козметични лечения, при които се използват импулсни ниски честоти (15 Hz) или радиочестотни ЕМП (27 MHz — 5,8 GHz) също биха могли да представляват риск за медицинските работници (Stam, 2022 г.).

Сигурност

Честотите на терахерцовите и милиметровите вълни се използват и в приложения за сигурност и сканиране, като например скенери на цялото тяло на летища, пощенски скенери и при безразрушителни изпитвания. Тези приложения могат да се различават значително по своя интензитет: докато нивата на полето в скенерите за сигурност са ограничени до интензитет под граничните стойности на експозиция поради експозицията на населението, медицинските и промишлените приложения може да имат по-висок интензитет и трябва да се използват от добре обучени работници.

Последици от ЕМП за безопасността и здравето при работа

Неблагоприятни последици за здравето и нормативна уредба и законодателство относно експозицията на ЕМП

Изследванията на въздействието на ЕМП върху здравето са обширни, но насоките за експозиция са насочени основно към остри, краткосрочни последици. Тези последици зависят от честотата на ЕМП, техния интензитет и продължителността на експозицията. Например последиците от експозиция на нискочестотни ЕМП над граничните стойности на експозиция, определени за ЗБР, включват възприемането на повърхностен електрически заряд, директна стимулация на нервната и мускулната тъкан и индуциране на фосфени в ретината (т.е. фалшиви светлинни импулси). При по-високи честоти (100 kHz — 300 GHz, фигура 1) последиците от стимулирането на нервите и промените в пропускливостта на клетъчните мембрани (при много високи нива на експозиция) намаляват, но е възможно локално повишаване на температурата и на телесната температура и предизвикване на т.нар. топлинни въздействия. Освен това е известно, че ЕМП могат да имат и непреки последици, които може да причинят рискове за безопасността, например контактно протичане на електрически ток, искров разряд и електромагнитни смущения или затопляне на медицински импланти.

Всички тези последици са добре изяснени и формират основата за изготвяне на настоящите насоки за експозиция, установени от международни органи, като например Международната комисия за защита срещу нейонизиращите лъчения (ICNIRP), която представи научни доказателства за неблагоприятните последици за здравето в резултат на експозиция на ЕМП в три публикации: една за статичните магнитни полета (ICNIRP, 2009 г.), втора за нискочестотния обхват (т.е. от 1 Hz до 10 MHz) (ICNIRP, 2010 г.), при който магнитните и електрическите полета трябва да се разглеждат отделно, тъй като те не са свързани в едно електромагнитно поле, както е при далечното поле, а работниците работят с източници на ЕМП, които в повечето случаи все още не са в далечното поле, и трета за обхвата между 100 kHz и 300 GHz (ICNIRP, 2020 г.). Въз основа на тези научни доказателства ICNIRP установи гранични стойности на експозиция, известни като основни ограничения и референтни нива. Референтните нива произтичат от основните ограничения, предлагат равностойни нива на защита и се използват много по-лесно за оценка на работните места. Имайте предвид, че граничните стойности на експозиция са определени за всяка честота (лента), а ICNIRP определя метод за претегляне при едновременна

експозиция на няколко източника на определено място в същия или в други честотни ленти. За да се отчете научната несигурност (включително променливостта в топлинната физиология сред населението и в в нивата на физическа активност и условията на околната среда), първо са приложени допълнителни коефициенти за намаляване към основните ограничения, които са (пет пъти) по-малки за професионалната експозиция, отколкото за експозицията на населението, тъй като последната се счита за по-променлива по отношение на възрастта и здравословното състояние, а не са известни или няма възможност да се контролират потенциалните рискове (ICNIRP, 2020 г.). Спазването на референтните нива и/или на основните ограничения на ICNIRP се счита за достатъчно, за да се осигури защита срещу установените неблагоприятни последици за здравето.

Освен това насоките и законодателството на ЕС относно експозицията на ЕМП се основават на насоките на ICNIRP и включват Препоръка 1999/519/ЕО на Европейския съвет от 1999 г. относно ограничаването на експозицията на населението на ЕМП и Директива 2013/35/ЕС от 2013 г. относно професионалната експозиция, която се прилага във всички държави членки от 2017 г. насам с някои национални различия.

В няколко проучвания (напр. Rijs and Stam, 2019 г.) са изследвани възможните връзки между дългосрочната експозиция на ЕМП и различни здравни проблеми, включително рак, репродуктивни проблеми, забавяне на развитието и дегенеративни нарушения на нервната система. Въпреки задълбочените изследвания обаче научните доказателства остават неубедителни, като в някои проучвания се посочва свързаност без обикновените научни зависимости, като например реакция на получената доза, докато при други не се открива съществена връзка (ICNIRP, 2020 г.).

Експозиция на ЕМП на работното място

Европейската комисия е предоставила подробна информация, така че да помогне на работодателите да разберат какво трябва да направят, за да се съобразят с Директива 2013/35/ЕС, в три незадължителни практически ръководства (ЕК, 2015а; 2015б; 2015в), в които се поставя акцент върху работна среда с потенциално висок интензитет на ЕМП. Освен това може да се направи справка с няколко матрици за експозиция на източници на ЕМП и на работното място (Vila et al., 2017 г.; Migault et al., 2019 г.). Въпреки това описаните по-горе нови разработки в приложенията на ЕМП биха могли да доведат до допълнителна, повишена или променена експозиция на ЕМП в професионална среда, както следва.

- Уплътняването на мобилната телефонна мрежа (т.е. поставянето на повече антени на базова станция на единица площ) води до увеличаване на броя на хората, работещи по-близо до телекомуникационните антени в сравнение с преди, особено когато са разположени базови станции с малки клетки. Това е валидно като цяло (например за извършващи поправка на покриви работници и електротехници), но по-специално за работни места със собствени безжични мрежи (т.е. частни/корпоративни мобилни телефонни, Wi-Fi и/или сензорни мрежи), особено когато броят на (личните) безжични устройства и сензори на тези работни места се увеличава. Сензорите, монтирани върху тялото (например за наблюдение на личното здраве при експозицията), биха могли да увеличат експозицията на работника на ЕМП, но по локализиран начин (т.е. ограничено до областта на тялото, върху която е поставен сензорът). Очаква се тези технологични иновации да бъдат широко разпространени и да не са свързани с конкретен сектор.
- Нарастващото присъствие на (широкомащабни) системи за БПЕ би могло да увеличи експозицията на ЕМП на зависещи от технологиите честоти (вж. раздел 3) в транспортния и логистичния сектор (напр. шофьори на автобуси и камиони). Това се отнася и за работни места, където личните инструменти и роботи/БЛА се зареждат безжично на платформи, подобни на тези, които се използват за мобилни телефони, но по-големи от тях, вместо да се използва зареждане с щифтов контакт.
- Електрификацията би могла да увеличи експозицията на нискочестотни магнитни полета (от високоволтови електропроводи, инвертори и промишлени процеси на нагряване, като например индукционно нагряване) (НКЗЕВР, 2023б).
- Тъй като броят на приложенията на ЕМП в медицинския сектор нараства, все повече медицински персонал (включително нетехнически персонал) може да бъде изложен на ЕМП в широк обхват от честоти (Stam и Yamaguchi-Sekino, 2017 г.; Turuban, 2023 г.).

- Използването на все по-високи честоти (не само в мобилните телефонни мрежи, но и в медицинските приложения и приложенията за сканиране за целите на сигурността) би могло да доведе до увеличаване както на локализираните, така и на повърхностните експозиции, рисковете от които все още не са ясни.

Предотвратяване на рисковете за БЗР, свързани с ЕМП

Съгласно Директива 2013/35/ЕС на ЕС работодателите са длъжни да оценяват всички рискове, свързани с експозицията на ЕМП на работното място, и да въведат подходящи мерки за предотвратяването им. По-специално те трябва да гарантират спазването на граничните стойности, определени в директивата. На първо място, това се прави въз основа на леснодостъпна информация: спецификации, споделени от производителя (напр. дали конкретното приложение отговаря на изискванията на съответното законодателство на ЕС относно продуктите, с което могат да се установят по-строги равнища на безопасност от предвидените в Директива 2013/35/ЕС), матрици за експозиция при източника и/или за експозиция на работното място (Vila et al., 2017 г.; Migault et al., 2019 г.), проучвания, извършени в рамките на прегледа, и/или практически ръководства, публикувани от ЕС, националните институции и органите по стандартизация. Например в документите (ЕК, 2015а; 2015б) се съдържат списъци с оборудване и работни места, за които може да се наложи изготвяне на **оценки на специфичните рискове**. В тях се предоставят и насоки относно необходимостта от оценка на риска от ЕМП за работниците, изложени на специфичен риск, като например тези с активни медицински изделия, включително пейсмейкъри (Modenese and Gobba, 2021 г.). Тази информация обаче може да се окаже недостатъчна, за да се оцени дали ще бъдат спазени граничните стойности на експозиция за нововъзникващите приложения на ЕМП и свързаните с тях рискове за БЗР. В този случай трябва да се извършат измервания на място или дозиметрични изчисления и да се сравнят със законово установените ограничения, като се вземат предвид всички присъщи им неопределености.

Ако граничните стойности бъдат надвишени, трябва да се предприемат защитни и превантивни мерки (примери могат да бъдат намерени в (ЕК, 2015а, 2015б). Тъй като интензитетът на ЕМП намалява бързо с увеличаване на разстоянието от източника, най-ефективната мярка за намаляване на експозицията е увеличаване на разстоянието между източника и работника. Това може да се постигне чрез въвеждане на технически и организационни мерки, като бариери, сигнализация и работни инструкции. Освен това екранирането е ефективно за всички форми на ЕМП, с изключение на магнитните полета с ниска честота. Информация за намаляване на експозицията на ЕМП, включително мерки за проектиране на работни места и разпоредби, свързани с работното оборудване и методи, се предоставя и в насоките на ЕК (ЕК, 2015а). Например бобините, трансформаторите и платформите за безжично зареждане следва да бъдат проектирани така, че да бъдат безопасни, когато се съхраняват на разстояние от работните места. Не следва да е възможно да се стои точно пред предавателните антени.

Пропуски, нужди, приоритети и препоръки по отношение на ЕМП и БЗР

Научни изследвания

Като цяло липсват проучвания относно последиците за здравето и интензивността на експозицията на ЕМП при:

1. честоти, използвани в нововъзникващите технологии за мобилни комуникации (т.е. между 6 и 300 GHz);
2. междинните честоти, използвани за безконтактно прехвърляне на енергия;
3. (суб)терахерцовите честоти, използвани в новите технологии за образна диагностика и сканиране (и очакваната им употреба с 6G мрежата). Най-големи пропуски в изследванията са открити в следните области:
    a. нивата на експозиция, особено при професии, при които се използва оборудване, генериращо потенциално силни магнитни, електрически или електромагнитни полета (Turuban, 2023 г.);
    b. възможните последици за здравето (вследствие на потенциални механизми на

биологично взаимодействие) (Jeschke, 2022 г.);

c. дългосрочната кумулативна експозиция на ЕМП в професионална среда (Hansson Mild, 2023 г.); и
d. установяването на най-подходящия показател за експозиция (Turuban, 2023 г.).

Освен това въздействието върху здравето и сетивните органи в резултат на експозиция на ЕМП може да варира значително между отделните работници. Експозицията на ЕМП се влияе от различни лични фактори и фактори на околната среда, в това число:

- лични характеристики: анатомия, телесни характеристики, включително импланти или пиърсинги и употреба на лекарства);
- работна стойка: положение и движение на тялото по време на работа;
- работна среда:
  - строителни материали: бетонът може да намали и частично да предпази от експозиция на РЧ ЕМП чрез железни мрежи, а дървото може да се използва като щит;
  - използване на инструменти: работата с инструменти или използването на такива (Jeschke, 2023 г.) може да окаже влияние върху нивата на експозиция.

Тази променливост сред работниците води до значителна несигурност при настоящите проучвания за оценка на експозицията и при матриците на експозиция, в които се използват тези данни (Turuban, 2023 г.).

Поради това трябва да се прилагат модели на изследване, при които се използват реалистични сценарии на експозиция на работното място (напр. периоди на върхови експозиции, последвани от периоди без експозиция (Hansson Mild, 2023 г.), или експозиции, близки до пределно допустимите гранични стойности в продължение на осем часа или повече (Jeschke, 2022 г.), и/или чрез които се събират подробни описателни данни за:

(a) стандартни професионални критерии, като например анатомия на работника, работни места и пози, физическа активност, тежки условия на работа и боравене с инструменти, по-специално с такива, които излъчват ЕМП (Jeschke, 2022 г.);
(b) характеристиките на емисиите на ЕМП (напр. честота и модулация на професионалните източници (Jeschke, 2022 г.);
(c) потенциалните експозиции през целия професионален живот (Hansson Mild, 2023); и
(d) последици за здравето, различни от вече известните (напр. поради топлинни въздействия на РЧ ЕМП) (Jeschke, 2022 г.).

Този тип проучвания биха подобрили значително научното разбиране за нивата и продължителността на експозиция на ЕМП в различни професионални среди и биха могли да се използват като по-точна отправна точка за епидемиологични проучвания на последиците за здравето в резултат на експозиция на ЕМП, при които в момента почти не се взема предвид професионалната експозиция. Това, което се изисква обаче, са дългосрочни, индивидуални данни за нивата на професионална експозиция в съчетание с други (съответни) екологични/професионални експозиции (например чрез мрежи от сензори за интернет на нещата), за да се търсят общи или определящи фактори (Stam and Rijs, 2019 г.; Hansson Mild et al., 2023 г.). За съжаление все още (често) няма подходящи, евтини измервателни устройства за събиране на тези данни и трябва да бъдат разработени такива и да бъдат разпространени, по-специално сред (силно) изложените на риск лица.

Политика на ЕС

Тъй като през 2020 г. ICNIRP издаде нови насоки, в които вече се прави позоваване на няколко технически стандарта (напр. IEC 62232:2023 и IEC TR 63377:2022), а Директива 2013/35/ЕС все още се основава на насоките от 1998, 2009 и 2010 г., правната ситуация се превърна в предизвикателство. Поради това Научният комитет по здравни, екологични и възникващи рискове (НКЗЕВР) даде неотдавна „положително становище относно необходимостта от техническо преразглеждане на приложенията към Препоръка 1999/519/ЕО на Съвета и Директива 2013/35/ЕС относно радиочестотните електромагнитни полета (от 100 kHz до

300 GHz)“ (НКЗЕВР, 2023a). Всъщност насоките от 2020 г. — в сравнение с насоките от 1998 г. — съдържат и адаптации, свързани с експозицията на нововъзникващи източници на ЕМП, като например 5G телекомуникациите, въз основа на кратки, локализирани експозиции при по-високи честоти (до 300 GHz). Става ясно, че въвеждането на нови технологии, свързани с ЕМП, увеличава сложността на оценката на експозицията на ЕМП на работното място, което изисква все по-задълбочени познания от страна на служителите в областта на здравето, безопасността и околната среда относно методите на измерване и моделиране (Jeschke, 2022 г.; Stam, 2022 г.).

Поради това практическите съображения, свързани с оценката на експозицията на ЕМП на работното място, отнасящи се до продължителността на експозицията в работно време в продължение на десетилетия, са от съществено значение за създаване на една надеждна практика за оценка на риска за БЗР (Jeschke et al., 2022 г.). Тези съображения, както и подходящите измервателни устройства, все още предстои да бъдат развити и могат да бъдат разгледани в актуализирани версии на публикациите на ЕК (ЕК, 2015a; 2015б; 2015в) или да бъдат предвидени в съответните технически стандарти.

И накрая е важно да се отбележи, че макар ICNIIRP (2020 г.) да посочва колко са важни „сензорните и поведенческите способности“ на работниците, за да „бъдат запознати с потенциалните рискове от РЧ ЕМП и да използват подходящи мерки за намаляване на вредите“, Jeschke et al. (2022 г.), тя правилно отбелязва, че с Рамковата директива на ЕС от 1989 г. (Директива 89/391/ЕИО) се „отдава приоритет на колективните технически и организационни защитни мерки пред личните (индивидуални) защитни мерки“. По отношение на БЗР обаче извършването на (индивидуални) оценки на риска за работниците, изложени на специфичен риск, е задължително. Следователно са необходими подходящи насоки, които лесно биха могли да бъдат разширени така, че да обхванат всички работници.

Работодатели, работници и експерти в областта на БЗР

Въпреки наличието на матрици на експозиция и практически ръководства за експозицията на ЕМП в професионална среда (включително мерки за намаляване на експозицията), познанията на работниците за професионалните източници и за експозицията на ЕМП „обикновено са ниски“ (Turuban, 2023 г.). Освен това работниците могат да не възприемат източниците като опасни и поради това да не обръщат необходимото внимание на предотвратяването на експозицията и дори да възприемат мерките за предотвратяване като неудобни (Stege, 2022 г.). За да се информират по-ефективно работодателите, работниците и експертите в областта на БЗР, работодателят би могъл да предостави сензори за измерване на експозицията на ЕМП (Bhatt et al., 2022 г.), които да бъдат носени от работниците или инсталирани в среда с ЕМП с висок интензитет. Тези носими устройства ще осигурят както ранно предупреждение, така и данните, необходими за научни изследвания в областта на професионалните експозиции на ЕМП и потенциалните им последици за здравето (вж. т. 5.1). Специфичните целеви групи за наблюдение със сензори за носене включват работници, които активно използват източници на ЕМП (напр. физиотерапевти и служители по сигурността), или работници, които работят в близост до тях, например електротехници. По-важно е обаче, че те включват работници, които могат несъзнателно да се доближат до активни източници на ЕМП, без да са запознати с потенциалните рискове, като например медицински сестри или персонал по поддръжката и почистването. Последната група става все по-значима с въвеждането на частни 5G мрежи и системи за БПЕ.

Въпреки че измерванията на място се използват широко при оценяване на въздействието на ЕМП върху БЗР, ако има основание да се предполага, че граничните стойности са надвишени, се изискват симулация и числово определяне, за да се установи дали се спазват граничните стойности на експозиция, които се оказаха сериозно предизвикателство за специалистите в областта на БЗР поради свързаните разходи и необходимия експертен опит (Jeschke, 2022 г.). Поради това е необходимо да се въведат практически правила, които позволяват бързо изчисляване, за да се гарантира спазването на стойностите. Различни държави вече са изготвили такива насоки, вж. например Bolte и Pruppers (2006 г.).

Заключителни бележки

В настоящия документ се прави цялостен преглед на последиците от нововъзникващите приложения на ЕМП в областта на БЗР, като се подчертава повсеместното присъствие на ЕМП

в съвременната работна среда в резултат на технологичните постижения, които ги превръщат в ключова движеща сила за цифровизацията на труда и за петата индустриална революция (включително усъвършенстваната автоматизация, роботиката, виртуализацията, дистанционната работа, контролните зали и т.н.).

Оценката на рисковете от експозиция на ЕМП е много сложна поради разнообразието на източници, и по-специално по отношение на честотата, интензитета и употребата в професионална среда, както и поради разнообразието на свързаните с това неблагоприятни последици за здравето. Освен това, макар острите въздействия от високите нива на експозиция на ЕМП при използваните понастоящем честоти да са добре изяснени, все още съществуват противоречия и пропуски по отношение на дългосрочните последици от ниски нива на експозиция и бъдещото използване на все по-високи честоти. Поради това регулаторните стандарти и (практическите) насоки, които имат за цел да защитят работниците, трябва да бъдат непрекъснато актуализирани въз основа на актуални научни изследвания. За тази цел силно се препоръчва дългосрочно наблюдение на стойностите на експозиция на ЕМП на работното място в съответните честотни ленти, като се използват както стационарни, така и преносими сензори, в съчетание със здравните показатели на работниците.

В обобщение, трябва да се разработи мултидисциплинарен подход за оценка на експозицията на ЕМП и за предотвратяване на риска, като се включат специфични за професията научни изследвания, непрекъснато адаптиране на политиките и ефективна комуникация между заинтересованите страни в областта на БЗР, за да се гарантират здравето и безопасността на работниците в една все по-безжично свързана и захранвана среда.

Благодарности

Благодарим на Rianne Stam (National Institute for Public Health and the Environment of the Netherlands — RIVM), Stefania Marassi (Law, THUAS) и Emanuelle Brun и Annick Starren (EU-OSHA) за критичния преглед и ползотворните дискусии.

Референтни документи

Amini, T., Jahangiri, F., Ameri, Z. и Hemmatian, M. A. (2021), A review of feasible applications of THz waves in medical diagnostics and treatments [Преглед на осъществимите приложения на терахерцови вълни в медицинската диагностика и лечение], *Journal of Lasers in Medical Sciences*, *12*, e92.

Bhatt CR, Henderson S, Brzozek C, Benke G. (2022), Instruments to measure environmental and personal radiofrequency-electromagnetic field exposures: An update [Инструменти за измерване на експозицията на радиочестотни електромагнитни полета в околната среда и личното пространство: Актуализация], *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 45(3),2022 г., стр. 687—704. https://link.springer.com/article/10.1007/s13246-022-01146-y

Bolte, J.F.B. и Pruppers, M.J.M., Electromagnetic fields in the working environment [Електромагнитни полета в работната среда] (юни 2006), *SZW-report RIVM-nr 610015001*, Ministry of Social Affairs and Employment (SZW) / National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), 2006 г. https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/610015001.pdf

Billings, C., Langley, M., Warrington, G., Mashali, F. и Johnson, J. A. (2021), Magnetic particle imaging: Current and future applications, magnetic nanoparticle synthesis methods and safety measures [Изобразяване на магнитни частици: настоящи и бъдещи приложения, методи за синтез на магнитни наночастици и мерки за безопасност], *International Journal of Molecular Sciences, 22.*

Cardillo, E. и Caddemi, A. (2020), A review on biomedical MIMO radars for vital sign detection and human localization [Преглед на биомедицинските MIMO радари за откриване на жизнени показатели и локализация на хора], *Electronics, 9(9)*, статия 9.

De Waard-Schalkx, I., Stam, R., van der Schaaf, M. и Bijwaard, H. (2015), Recent developments in medical techniques involving ionising or non-ionising radiation: Update 2014 [Последни разработки в медицинските техники, включващи йонизиращо или нейонизиращо лъчение: Актуализация 2014], *RIVM Report 2014-0070*, Bilthoven, National Institute for Public Health and the Environment.

EU-OSHA — Европейска агенция за безопасност и здраве при работа (2023), *Преглед на политиката: Интелигентни цифрови системи за мониторинг на безопасността и здравето при работа: възможности и предизвикателства.* https://osha.europa.eu/en/publications/smart-digital-monitoring-systems-occupational-safety-and-health-opportunities-and-challenges

Европейска комисия (ЕК) (2023), *Съобщение на Комисията до Европейския парламент, Съвета, Европейския икономически и социален комитет и Комитета на регионите — Стратегическа рамка на ЕС за здравословни и безопасни условия на труд за периода 2021—2027 г. — Здравословни и безопасни условия на труд в променящ се свят на труда,* COM(2021) 323 final, извлечено от https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52021DC0323

Европейска комисия (ЕК): генерална дирекция „Трудова заетост, социални въпроси и приобщаване“ (2015а), *Незадължително ръководство за добри практики за прилагане на Директива 2013/35/ЕС относно електромагнитните полета, том 1, Практическо ръководство,* Брюксел, Белгия.

Европейска комисия (ЕК): генерална дирекция „Трудова заетост, социални въпроси и приобщаване“ (2015б), *Незадължително ръководство за добри практики за прилагане на Директива 2013/35/ЕС относно електромагнитните полета, том 2, Казуси,* Брюксел, Белгия.

Европейска комисия (ЕК): генерална дирекция „Трудова заетост, социални въпроси и приобщаване“ (2015в), *Незадължително ръководство за добри практики за прилагане на Директива 2013/35/ЕС относно електромагнитните полета, том 3, Ръководство за МСП,* Брюксел, Белгия.

Европейска комисия (ЕК) (2022), Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe [Пета индустриална революция:Трансформираща визия за Европа — Преглед на политиката № 3 на ESIR], Служба за публикации на Европейския съюз, ISBN 978-92-76-43352-1.

Европейски институт за стандарти в далекосъобщенията (ETSI) (2023), *ETSI TR 103 493 V1.1.1.: System Reference document (SRdoc); Wireless Power Transmission (WPT) systems operating below 30 MHz [Системи за безжичен пренос на енергия (БПЕ), работещи под 30 Mhz],* Sophia Antipolis Cedex, Франция.

Hansson Mild K, Mattsson MO, Jeschke P, Israel M, Ivanova M. и Shalamanova T. (2023), *Occupational exposure to electromagnetic fields–Different from general public exposure and laboratory studies [Професионална експозиция на електромагнитни полета — разлика при експозицията на населението и лабораторните изследвания], International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(16), 6552.

Международен съюз по далекосъобщения (ITU) (2023), *Radio Regulations Articles: Издание от 2020 г.*

Международен съюз по далекосъобщения (ITU) (2023), *Executive report ITU regional assessment for Europe on EMF exposure limits and risk communication challenges [Доклад за изпълнението на МСД за регионална оценка на Европа относно граничните стойности на експозиция на електромагнитни полета и предизвикателствата при обмяната на информация за риска].*

Jeschke, P., Alteköster, C., Hansson Mild, K., Israel, M., Ivanova, M., Schiessl, K., Shalamanova, T., Soyka, F., Stam, R. и Wilén, J. (2022), Protection of workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields: A perspective on open questions in the context of the new ICNIRP 2020 guidelines [Защита на работниците, изложени на радиочестотни електромагнитни полета: Поглед върху отворените въпроси в контекста на новите насоки на ICNIRP 2020], *Frontiers in Public Health*, 10.

Migault, L., Bowman, J. D., Kromhout, H., Figuerola, J., Baldi, I., Bouvier, G., Turner, M. C., Cardis, E. и Vila, J., (2019), Development of a job-exposure matrix for assessment of occupational exposure to high-frequency electromagnetic fields (3 kHz–300 GHz) [Разработване на матрица за експозиция на работното място за оценка на професионалната експозиция на високочестотни електромагнитни полета (3 kHz–300 GHz)], Annals of Work Exposures and Health, 63(9), 63(9), стр. 1013—1028.

Modenese, A. и Gobba, F. (2021), Occupational exposure to electromagnetic fields and health surveillance according to the European Directive 2013/35/EU [Професионална експозиция на електромагнитни полета и наблюдение на здравословното състояние съгласно Директива 2013/35/ЕС], *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), стр.1730.

Rijs KJ & Stam R. (2019), Onderzoek naar mogelijke langetermijneffecten van elektromagnetische velden op de gezondheid van werknemers – актуализация 2019 [Изследване на възможните дългосрочни последици от електромагнитните полета за здравето на работниците — актуализация 2019], *RIVM Report* 2019-0010, Bilthoven: RIVM.

Научен комитет по здравни, екологични и възникващи рискове (НКЗЕВР) (2023а), *Становище относно необходимостта от преразглеждане на приложенията в Препоръка 1999/519/ЕО на Съвета и Директива 2013/35/ЕС, с оглед на най-новите налични научни доказателства по отношение на радиочестотата (100kHz — 300Ghz)*.

Научен комитет по здравни, екологични и възникващи рискове (НКЗЕВР) (2023б), *Потенциални последици за здравето от експозицията на електромагнитни полета (ЕМП): 14 Актуализация по отношение на честотите между 1 Hz и 100 Hz.*

Stam, R. и Yamaguchi-Sekino, S. (2018), Occupational exposure to electromagnetic fields from medical sources [Професионална експозиция на електромагнитни полета от медицински източници]. *Industrial Health*, *56*(2), стр. 96—105. https://doi.org/10/g8hwgs

Stam, R. (2021), Occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields [Професионална експозиция на радиочестотни електромагнитни полета], *Industrial Health*, *60*(3), стр. 201—215.

Stam, R. (2022), Bronnen van blootstelling van werknemers aan elektromagnetische velden: Nieuwe ontwikkelingen [Източници на експозиция на работниците на електромагнитни полета: Нови разработки], *RIVM-briefrapport RIVM 2022-0109,* Bilthoven: RIVM.

Stege, T. A. M., Bolte, J. F. B., Claassen, L. и Timmermans, D. R. M. (2020), Electromagnetic field exposure in power plants: A qualitative assessment of work safety perceptions among employees [Експозиция на електромагнитни полета в електроцентрали: Качествена оценка на възприятията за безопасност на труда сред служителите], *Journal of Risk Research, 23*(12), стр. 1650—1660.

Stege, T. A. M. (2022), *Development of risk communication tools for occupational exposures [Разработване на инструменти за обмяна на информация за риска при професионални експозиции]* (Докторска дисертация), Amsterdam Free University (VU) и National Institute for Public Health and the Environment of the Netherlands (RIVM), Нидерландия, ръководители D.R.M. Timmermans, L. Claassen, J.F.B. Bolte, ISBN 978-94-6421-796-4, извлечено от: https://research.vu.nl/en/publications/development-of-risk-communication-tools-for-occupational-exposure

Turuban, M., Kromhout, H., Vila, J., Vallbona-Vistós, M., Baldi, I. и Turner, M. C. (2023), Personal exposure to radiofrequency electromagnetic fields in various occupations in Spain and France [Персонална експозиция на радиочестотни електромагнитни полета в различни професии в Испания и Франция], *Environment International, 180*, 108156.

Vila, J., Bowman, J. D., Figuerola, J., Moriña, D., Kincl, L., Richardson, L. и Cardis, E. (2017), Development of a source-exposure matrix for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC study [Разработване на матрица източник-експозиция за оценка на професионалната експозиция на електромагнитни полета в проучването на INTEROCC], *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology, 27*(4), стр. 398—408.

Автори: Sam Aerts, John Bolte.

Smart Sensor Systems research group, Faculty Technology, Innovation & Society, The Hague University of Applied Sciences (THUAS), Нидерландия.

Управление на проекта: Annick Starren, Emmanuelle Brun — Европейска агенция за безопасност и здраве при работа (EU-OSHA).

Този документ за обсъждане е възложен от EU-OSHA. В него, включително в изразените мнения и/или заключения, се съдържа единствено мнението на авторите и не се отразява непременно становището на EU-OSHA.

Преводът е предоставен от Центъра за преводи (Люксембург), въз основа на английският оригинал на текста.

Нито EU-OSHA, нито лице, действащо от името на Агенцията, носи отговорност за евентуалната употреба на информацията по-долу.

© Европейска агенция за безопасност и здраве при работа, 2026 г.

Възпроизвеждането е разрешено при посочване на източника.

За всяко използване или възпроизвеждане на снимки или други материали, които не са под авторското право на Европейската агенция за безопасност и здраве при работа, трябва да се иска разрешение пряко от притежателите на авторските права.