

## АЛГОРИТЪМ ЗА ОЦЕНКА НА РИСКА ПРИ ЕКСПОЗИЦИЯ ОТ НИСКОЧЕСТОТНИ МАГНИТНИ ПОЛЕТА

Радостин Долчинков, Радослав Симионов, Камен Сейменлийски  
Бургаски свободен университет

**Резюме:** Електромагнитните полета (ЕМП) са част от система сложни физични фактори на работната среда, характеризиращи се с динамични промени както във времето, така и в пространството. В тази връзка, оценката на риска, при експозиция от нискочестотни магнитни полета е съществен елемент в управлението на безопасността при инженеринг на сградни енергийни системи, особено когато се разглежда въздействието на електромагнитните полета върху работниците и крайните потребители. Алгоритми за структуриране на такава оценка са разглеждани в настоящата статия.

**Ключови думи:** Електромагнитните полета, оценката на риска, безопасност.

## ALGORITHM FOR RISK ASSESSMENT OF EXPOSURE TO LOW-FREQUENCY MAGNETIC FIELDS

Radostin Dolchinkov, Radoslav Simionov, Kamen Seymenliyski  
Burgas Free University

**Abstract:** Electromagnetic fields (EMF) are part of a system of complex physical factors of the working environment, characterized by dynamic changes both in time and space. In this regard, the risk assessment of exposure to low-frequency magnetic fields is an essential element in the safety management of building energy systems engineering, especially when considering the impact of electromagnetic fields on workers and end users. Algorithms for structuring such an assessment are discussed in this article.

**Key words:** Electromagnetic fields, risk assessment, safety management.

### Въведение

Оценката на риска е съществен елемент в управлението на безопасността при инженеринг на сградни енергийни системи, особено когато се разглежда въздействието на електромагнитните полета (ЕМП) върху работниците и крайните потребители. Директива 2013/35/ЕС на Европейския парламент и на Съвета определя минимални изисквания за защита на работниците от рискове, свързани с излагане на електромагнитни полета в диапазона от 0 Hz до 300 GHz. Прилагането на Директивата изисква систематична оценка на риска, която да осигури защита срещу неблагоприятните въздействия на електромагнитните полета.

В брой 95 на Държавен вестник от 29 ноември 2016 е обнародвана Наредба № РД-07-5 от 15.11.2016 г. за минималните изисквания за осигуряване на здравето и безопасността на работещите при рискове, свързани с експозиция на електромагнитни полета.

Наредбата въвежда изискванията на Директива 2013/35/ЕС от 26 юни 2013 година относно минималните изисквания за здраве и безопасност, свързани с експозицията на работниците на рискове, дължащи се на физични агенти (електромагнитни полета).

## I. МЕТОДОЛОГИЯ ЗА ОЦЕНКА НА РИСКА

Целта на настоящата директива е да се обхванат всички известни преки и косвени биофизически ефекти, причинени от електромагнитни полета, с оглед не само да се гарантира здравето и безопасността на всеки отделен работник, но също и да се осигури минимално равнище на защита за всички работници в Съюза, като същевременно се намали евентуалното нарушаване на конкуренцията.

Методологията за оценка на риска, съгласно Директива 2013/35/ЕС, следва следните стъпки:

- Идентификация на източниците на електромагнитни полета: Първата стъпка е да се установят всички съоръжения и системи в сградните енергийни системи, които генерират електромагнитни полета, като трансформатори, електрически кабели, електромагнитни релета и електронни устройства. Идентификацията трябва да обхваща както планираните, така и случайните източници на ЕМП.

- Качествена и количествена оценка на електромагнитното излъчване: След идентифицирането на източниците на ЕМП, се провежда измерване или изчисляване на нивата на електромагнитни полета в зоните на работното място, като се сравняват с граничните стойности, определени в Директивата. За измерване на полетата могат да се използват специализирани уреди, като спектрални анализатори и измервателни уреди за ЕМП.

- Оценка на експозицията и въздействието: Анализът включва преглед на вероятността работниците да бъдат изложени на нива на електромагнитни полета, които надвишават безопасните граници. Тук се прилагат научно обосновани методи за оценка на експозицията в различни работни ситуации, като например близостта до източници на ЕМП или продължителността на експозицията.

- Сравнение с граничните стойности: Според Директива 2013/35/ЕС, оценката трябва да включва сравнение с регламентираните гранични стойности за експозиция на електромагнитни полета, както и с нива, които могат да причинят сензорни или здравни ефекти, посочени в незадължителното ръководство.

- Преобразуването на слънчевата енергия в електричество чрез фотоволтаични клетки е едно от най-практичните научни открития от последните няколко години. Използването на слънчева енергия е много по-малко вредно за околната среда от изгарянето на изкопаеми горива за генериране на енергия.

Множество дейности, извършвани в съвременната работна среда, са неразривно свързани с генерирането на електромагнитни полета (ЕМП), предимно поради използването на електрически уреди и обичайните комуникационни технологии. Независимо от това, на повечето работни места регистрираните нива на експозиция остават на значително ниски стойности, което обуславя отсъствието на съществени рискове за работниците. Дори в условия, при които се наблюдават силни електромагнитни полета, тяхната интензивност обикновено намалява рязко с увеличаването на дистанцията от източника. Следователно, в случаите, когато работниците не са задължени да се доближават до оборудването, рискът за тяхното здраве остава пренебрежимо малък. Поради факта, че повечето електромагнитни полета се генерират чрез електрически път, те изчезват при прекъсване на захранването [1,2,3,4,5].

Потенциалните рискове за работниците могат да произтичат както от преките въздействия на полетата върху човешкото тяло, така и от непреките ефекти, свързани с наличието на обекти в зоната на влияние на полетата. Преките въздействия могат да бъдат класифицирани в две основни категории – топлинни и нетоплинни ефекти.

Освен това, съществува специфичен риск за определени категории работници, изложени на въздействието на ЕМП. Сред тях се включват лица, които притежават активни имплантирани медицински устройства, пасивни имплантирани медицински изделия, външни медицински изделия, както и бременни работнички.

В съответствие с Директивата за ЕМП, когато електромагнитните полета на работното място са твърде ниски, се счита, че не е необходимо провеждането на специфични сравнения със стойностите за предприемане на действия или граничните стойности на експозиция. В подобни случаи ръководството препоръчва на работодателите да разчитат на обобщена информация, предоставена в таблици. При необходимост от сравнения със стойностите за действие или граничните стойности на експозиция, работодателите са насърчавани да се възползват от достъпната информация, предоставена от производителите или от специализирани бази данни, за да избегнат извършването на собствени оценки. В случаите, когато е неизбежно провеждането на собствени оценки, ръководството предлага подробни методологически указания, включително за работа с нехомогенни полета, сумиране на многочестотни полета и прилагане на метода на претеглените върхови стойности.

В рамките на Директивата за ЕМП са дефинирани минималните изисквания, свързани с излагането на работниците на рискове, произтичащи от въздействието на електромагнитни полета. Въпреки това, само ограничен кръг работодатели ще бъдат задължени да извършват изчисления или измервания на нивата на ЕМП в своите работни среди. В по-голямата част от случаите, характерът на извършваните дейности предполага наличие на ниски рискове, които могат да бъдат лесно идентифицирани и управлявани.

### **1.1. Метод за оценяване на рисковете, произтичащи от електромагнитни полета**

Всички работодатели са задължени да извършват оценка на рисковете, произтичащи от дейността, която се извършва на техните работни места, и да прилагат защитни или превантивни мерки за намаляване на идентифицираните рискове. Тези задължения са утвърдени в рамките на Рамковата директива, която представлява основният законодателен акт за защита на здравето и безопасността на работниците. В този контекст, Директивата за ЕМП е въведена с цел да подпомогне работодателите в изпълнението на техните общи задължения, свързани с работната среда, когато електромагнитните полета са специфичен фактор. Следователно, при прилагането на Рамковата директива, мнозина работодатели вероятно ще открият, че изискванията на Директивата за ЕМП са вече в значителна степен изпълнени, което изключва необходимостта от допълнителни действия.

В Директивата за ЕМП електромагнитните полета се дефинират като статични електрически полета, постоянни магнитни полета, както и променливи във времето електрически, магнитни и електромагнитни полета с честоти до 300 GHz. Важен аспект на оценката на риска е разпознаването на източниците на ЕМП, които могат да бъдат широк спектър от устройства и инсталации на работното място, като производствено оборудване, комуникационни системи, научни изследвания, медицинска техника, пренос и разпределение на електроенергия, радио- и телевизионно разпръскване, аеронавигация и морска навигация, както и дейности, свързани със сигурността. Освен това, електромагнитни полета могат да възникват случайно, например около кабели за разпределение на електричество в сгради или около различни електроуреди.

Тъй като електромагнитните полета обикновено се генерират по електрически път, те престават да съществуват при изключване на електрозахранването. Важно е

да се отбележи, че законовите разпоредби, чрез които държавите членки транспонират Директива 2013/35/ЕС, винаги имат превес и могат да въведат по-високи изисквания от тези, заложи в основната директива. В България, Наредба № РД-07-5, публикувана в Държавен вестник бр. 95 от 29.IX.2016 г., транспонира напълно разпоредбите на Директивата за ЕМП без изменения.

Производителите на оборудване също играят съществена роля в изпълнението на изискванията, като проектират своите продукти по такъв начин, че да сведат до минимум генерирането на ЕМП. Освен това, те предоставят на работодателите необходимата информация относно характеристиките на генерираните полета и свързаните с тях рискове при обичайната употреба на съответното оборудване. Тази координация между законодателни изисквания и производствени стандарти улеснява работодателите в изпълнението на техните задължения за осигуряване на безопасна и здравословна работна среда.

## **1.2. Последници за здравето и рискове за безопасността, произтичащи от електромагнитните полета**

Видът и степента на въздействие на електромагнитните полета върху човешкия организъм са в значителна степен обусловени от честотните и интензитетните характеристики на полетата, като в някои случаи допълнителни фактори като формата на сигнала също могат да окажат влияние. Някои полета водят до стимулиране на сетивните органи, нервните структури и мускулатурата, докато други предизвикват термични ефекти, свързани с нагряване на тъканите. В Директивата за ЕМП тези ефекти се категоризират като топлинни, докато всички останали въздействия се отнасят към групата на нетоплинните ефекти [9,10,11].

Съществено е да се подчертае, че всички ефекти имат ясно дефиниран праг, под който не съществува риск за здравето, и експозицията под този праг не води до кумулативни (натрупващи се) последици. Въздействието на полетата е временно и преустановява или намалява своята интензивност при прекратяване на експозицията, което изключва допълнителен риск за здравето след приключването ѝ.

В съвременния свят всеки човек е изложен на електрически и магнитни полета от разнообразни източници, сред които се включват електрическото оборудване, радиопредавания, телевизионни излъчвания и комуникационни устройства. Повечето източници на електромагнитни полета в домовете и на работното място генерират ниски нива на експозиция, като вероятността обичайните трудови дейности да доведат до експозиции, надвишаващи стойностите за предприемане на действия или граничните стойности, определени в Директивата за ЕМП, е минимална.

Големината и интензитетът на създаваните електромагнитни полета зависят от характеристиките на напрежението, тока и честотите, с които функционира оборудването, както и от неговата конструкция. Някои устройства са проектирани с цел генериране на електромагнитни полета около излъчвателите, което в определени случаи може да доведе до значителни нива на експозиция дори при оборудване с малка мощност. За оборудване, което използва силни токове, високи напрежения или което е проектирано да излъчва електромагнитно лъчение, обикновено се изисква допълнителна оценка [6,7,8].

Определени групи работници се считат за изложени на специфичен риск, свързан с въздействието на електромагнитни полета. За тези работници стандартните правила за безопасност и референтните нива, посочени в Препоръка 1999/519/ЕО на Съвета, може да не са достатъчни за осигуряване на адекватна защита. Въпреки че повечето от тях получават подходяща защита при спазването на тези референтни нива, за мал-

ка част от работниците дори тези стандарти не са достатъчни. Тези лица следва да бъдат информирани и консултирани от медицински специалист, отговорен за грижата за тяхното здраве, за да могат работодателите да установят дали те са изложени на риск в работната среда [12,13,14,15].

На работните места, където се използва оборудване или са разположени съоръжения, опериращи с високи токове или напрежения, може да се формират зони с интензивни електромагнитни полета. Това е особено вероятно при оборудване с висока мощност, което е специално предназначено за генериране и излъчване на електромагнитни вълни. В такива ситуации, силата на полетата може да надвишава стойностите за предприемане на действие (СПД) или граничните стойности на експозиция (ГСЕ), определени в Директивата за ЕМП, или да създаде неприемливи рискове посредством непреки въздействия.

За защитата на работниците, изложени на електромагнитни полета, е необходимо провеждането на ефикасна и ефективна оценка на рисковете. Това задължение обаче следва да е съобразено със ситуацията на работното място. Поради това е целесъобразно да се определи система за защита, която групира различните рискове по прост и лесно разбираем начин.

В случай на установяване на работни ситуации, които не изглежда да са обхванати от наличните защитни мерки, първостепенната задача на работодателите е да съберат колкото се може повече информация от съществуващите ръководства и други налични документи. Следващата стъпка включва проверка за наличието на допълнителна информация от външни източници, като например производители на оборудване или професионални сдружения.

Основите на законодателната рамка за защита на работниците са заложили в Римския договор, сега известен като Договора за функционирането на Европейския съюз, който определя целта за подобряване на работната среда по отношение на здравето и безопасността на работниците. За изпълнението на тази цел договорът предвижда възможност за въвеждане на директиви, които определят минимални изисквания за защита. През 1989 г. беше приета Рамковата директива (89/391/ЕИО), която се утвърди като основополагаща и всеобхватна в областта на трудовото законодателство. Тази директива определя основните изисквания за оценка и намаляване на рисковете, аварийна готовност, информираност, участие и обучение на работниците, техните задължения и здравното наблюдение. В допълнение, тя предвижда въвеждането на специални директиви, които предоставят конкретни насоки за постигане на целите на Рамковата директива в специфични условия. Директивата за електромагнитните полета е двадесетата такава директива, която е въведена за справяне със специфичния риск от електромагнитни полета.

Въвеждат редица специфични аспекти, които трябва да бъдат разгледани при оценката на рисковете, свързани с въздействието на електромагнитни полета. Предоставят насоки за подходите към оценката на тези рискове, като препоръките могат да бъдат адаптирани към индивидуалните нужди на работодателите, за да се интегрират в техните съществуващи системи за управление на риска [16, 17, 18, 19].

Важно е да се отбележи, че няма строго установени правила за методологията на оценка на риска, но винаги е препоръчително да се прави справка с националните органи за евентуални специфични изисквания. Структурираните подходи към оценката на риска са най-ефективни, тъй като те позволяват систематичното идентифициране на опасностите и определянето на работниците, изложени на риск. Това гарантира, че няма да бъдат пропуснати съществени рискове. Сложността на оценката ще зависи от

естеството на дейностите и съоръженията, но опитът показва, че при повечето случаи най-добре е оценката да бъде максимално опростена и ясно структурирана.

Първата стъпка при всяка оценка на риска е да бъде събрана информацията относно трудовете дейности, включително:

- описание на трудовете задачи;
- кой извършва работата;
- как се извършва работата;
- какво оборудване се използва за извършване на трудовете задачи.

Особено важни на този етап са консултациите с работниците и наблюдението на трудовете дейности. Начинът, по който се извършва на практика дадена трудова дейност, може да се различава от начина, по който се извършва на теория.

### 1.3. Идентифициране на опасностите и лицата, изложени на риск

Към определяне на опасностите във всички аспекти на работата следва да се подходи, като:

- се обиколи работното място и се установи какво би могло да причини увреждане;
- се консултират работниците и техни представители относно всякакви проблеми, които са срещнали;
- проследяване на това, което действително се случва на работното място или по време на трудова дейност, действителната практика може да се различава от работния наръчник;
- се помисли за дългосрочните опасности за здравето, като напр. психо-социални или рискови фактори работната среда;
- се прегледат архивите на предприятието относно трудови злополуки и болести;
- се потърси информация от други източници, като наръчници с инструкции или информационни листове за производители и доставчици и нормативна уредба и технически стандарти.

Първата стъпка към идентифицирането на опасностите, свързани с електромагнитните полета (ЕМП), е да се определят конкретните дейности и оборудване, които генерират такива полета на работното място. В Директивата за ЕМП се признава възможността някои работни места, които са обществено достъпни, вече да са преминали оценка в съответствие с Препоръка 1999/519/ЕО на Съвета, която е свързана с ограничаване на експозицията на населението на ЕМП. Ако тези работни места отговарят на изискванията на Препоръка 1999/519/ЕО и рисковете за здравето и безопасността са ефективно елиминирани, не е необходимо провеждането на допълнителна оценка на експозицията.

Тези условия се смятат за изпълнени, когато:

- Оборудването, предназначено за обществено ползване, се използва съгласно първоначалното си предназначение;
- Оборудването съответства на изискванията на директивите за продуктите, които определят по-високи нива на безопасност в сравнение с Директивата за ЕМП;
- Не се използва друго оборудване, което да променя общата експозиция.

Определени източници могат да генерират силни полета, които обикновено не са достъпни при нормална употреба, тъй като оборудването е изолирано или работните зони са охранявани. В тези случаи е от съществено значение да се провери дали ра-

ботниците имат достъп до тези силни полета по време на дейности като поддръжка, обслужване или ремонт. Производителите и монтажниците на оборудване също трябва да вземат под внимание, че по време на изпитването на частично инсталирано оборудване работниците могат да бъдат изложени на полета, до които нормално не би трябвало да имат достъп.

За всяка опасност е важно да е ясно, на кого би могла да навреди. Особено внимание се обръща на въпросите на групите работници, които могат да са изложени на повишен риск или имат специални изисквания, работници с увреждания, младежи и възрастни работници, бременни жени, необучен или неопитен персонал, работници на срочни договори и на непълно работно време. Процесът на идентифициране на рисковете следва да включва ясно разграничаване на лицата, които могат да бъдат засегнати от разглежданите опасности. Това означава да се обърне внимание не само на пряко заетите работници, но и на всички останали лица, които могат да присъстват на работното място, независимо дали са постоянни служители или външни посетители. Лицата, които извършват трудови дейности или използват оборудване, генериращо силни полета, трябва да бъдат ясно идентифицирани и оценени като част от процеса на управление на риска.

Особено внимание трябва да се обърне и на лицата, които не са преки служители, но могат да бъдат изложени на риск в работната среда. Това включва посетители, инженери по поддръжка, изпълнители на различни услуги и работници по доставките. Всички тези групи трябва да бъдат включени в оценката на риска, за да се гарантира, че са предприети необходимите мерки за тяхната безопасност и защита.

#### **1.4. Оценка на рисковете и степенуване по важност**

Следващата стъпка е да се прецени риска, възникващ от всяка опасност. Това може да се отчете, като се вземе предвид:

- доколко е вероятно една опасност да причини увреждане, например дали е реално, възможно, не много вероятно, вероятно, или неизбежно във времето
- доколко ще доведе до незначително увреждане, до злополука без нараняване, незначително нараняване, контузия, разкъсване, сериозно нараняване, фрактура, ампутация, хронично влошено здраве, смъртен случай, или множество смъртни случаи
- колко често и колко на брой работници са изложени

В някои други случаи може да не е възможно да се определят опасностите и се преценят рисковете без професионални познания, подкрепа и съвет.

Такива случаи могат да възникнат по отношение на по-сложните процеси и технологии на работното място, за които може да се изискват анализ и измервания.

Оценката на риска, свързана с електромагнитните полета (ЕМП), може да включва различни нива на сложност – от опростена преценка на нивото на риска (ниско, средно или високо) до сложни количествени анализи. При този процес е от съществено значение да се разглеждат два основни аспекта: сериозността на потенциалното опасно събитие и вероятността за неговото възникване.

При оценяването на сериозността на риска е важно да се отрази очакваният резултат от възможното опасно събитие. Взаимодействието с електромагнитни полета на работното място може да доведе до различни по тежест последствия, в зависимост от интензитета на полето и други специфични обстоятелства. Например, въздействието на силни електромагнитни полета може да варира от краткотрайно дразнене на сетивните органи до потенциални увреждания при дългосрочно и силно излагане. Се-

риозността на последиците се определя на база очакваните физиологични реакции и възможни здравни ефекти, като степента на сериозност зависи от преценката на оценяващия специалист и от местните условия.

При оценката на вероятността трябва да се вземат под внимание редица фактори, като степента на излагане на полета и естеството на извършваните трудови дейности. Често излагането на силни електромагнитни полета е ограничено от други фактори като наличието на механични или електрически опасности, които също налагат предпазни мерки. В такива случаи може да не е необходимо да се въвеждат допълнителни ограничения заради електромагнитните полета.

При оценката на вероятността е необходимо да се анализират и конкретните работни процеси. Например, при работа с индукционни пещи, излагането на работниците може да бъде минимално в критични моменти на цикъла на работа. В началния етап на нагриване пещта може да функционира с пълна мощност, но работниците обикновено не се намират в непосредствена близост до съоръжението. След като материалът бъде разтопен, пещта може да работи с намалена мощност, което води до значително по-ниски нива на електромагнитни полета.

Като цяло, процесът на оценка на риска при излагане на електромагнитни полета изисква цялостен и адаптивен подход. От съществено значение е да се идентифицират специфичните обстоятелства и условия на работа, да се оцени адекватно сериозността и вероятността на опасните събития и да се приложат подходящи мерки за минимизиране на риска. Това изисква задълбочен анализ на съществуващите условия и динамиката на работните процеси, за да се осигури ефективна и безопасна работна среда.

### **1.5. Вземане на решение за предприемане на превантивни действия**

След като се прецени какви са рисковете, следващата стъпка е да се изпълнят превантивни и защитни мерки. Ако рисковете не могат да бъдат избегнати или предотвратени, се взема решение как те могат да се намалят до ниво, в което да не са застрашени безопасността и здравето на изложените на риск лица.

Когато се определя стратегия за намаляване и контрол на рисковете се използват следните допълнителни общи принципи за превенция като: борба с риска при източника, адаптиране на работата към индивида, избор на работно оборудване и избора на работни и производствени методи, адаптиране към техническия прогрес, разработката на последователна политика за обща превенция, включваща технологията, организацията на работата, условията на труда, социалните взаимоотношения и влиянието на фактори, свързани с работната среда, даване на приоритет на колективните защитни мерки пред индивидуалните защитни мерки, даване на подходящи инструкции на работниците или служителите.

Когато рисковете, свързани с излагането на електромагнитни полета (ЕМП), са идентифицирани, първата и най-важна стъпка е да се постави въпросът дали тези рискове могат да бъдат елиминирани. Основният акцент тук е върху възможността за намаляване на интензитета на полетата до нива, които не представляват опасност, или предотвратяването на достъп до тези полета. Когато това е осъществимо, решенията за превантивни действия следва да бъдат вземани още на етапа на проектиране или при закупуване на нови технологични процеси и оборудване.

След като определим най-подходящите превантивни и защитни мерки, следващата стъпка е те да бъдат изпълнени ефективно.

Ефективното изпълнение включва разработката на план, който уточнява: мерките за изпълнение, отпуснатите средства, време и разходи, създадената организация за

това кой, какво и кога трябва да извърши и накрая дата за преглед на мерките за контрол.

Важно е в процеса да се включат работниците като бъдат информирани относно изпълняваните мерки и кой ще отговаря за тяхното изпълнение, да бъдат обучени или инструктирани относно мерките или процедурите, които ще бъдат изпълнени.

- **Превантивни мерки и сравнение със СПД и ГСЕ**

Сравнението със стойностите за предприемане на действие (СПД) или граничните стойности на експозиция (ГСЕ) предоставя важни данни в процеса на оценка на риска. Ако не може да бъде доказано спазването на СПД, тогава работодателите могат да решат да оценят ГСЕ. Въпреки това, този подход често е по-сложен и изисква повече ресурси. В много случаи могат да бъдат приложени допълнителни мерки за осигуряване спазването на СПД или ГСЕ, преди да се пристъпи към по-детайлна оценка.

Нежеланите последици за човешкото тяло зависят от честотата на електромагнитните полета или от лъченията, на които то е изложено. Следователно е необходимо системите за ограничаване на експозицията да бъдат съобразени с пространствените характеристики на експозицията и честотната зависимост, за да бъдат адекватно защитени работниците, изложени на електромагнитни полета.

След като работодателят е доказал спазването на СПД или ГСЕ, или е изчерпал всички практически възможности за въвеждане на допълнителни мерки, той трябва да продължи с по-задълбочената оценка на риска. Пълната оценка на експозицията на работниците и сравнението с ГСЕ могат да бъдат предизвикателни и сложни, като в много случаи излизат извън обхвата на стандартните ръководства.

Нивото на експозиция на електромагнитни полета може да бъде намалено по-ефективно чрез въвеждането на превантивни мерки още на етапа на проектирането на работните места, както и като бъде дадено предимство при избора на оборудване, процеси и методи на работа на ограничаването на рисковете при източника. По този начин разпоредбите относно оборудването и методите на работа допринасят за защитата на работниците, които ги използват.

- **Различни СПД за електрически и магнитни полета**

В директивата са посочени различни СПД, от които повече от една стойност може да бъде приложима едновременно. СПД се отнасят или за преките, или за непреките ефекти. При ниски честоти електрическите и магнитните полета могат да се разглеждат като независими (квазистатично приближение), тъй като и двата вида полета индуцират електрически полета в човешкото тяло. Следователно, за ниските честоти съществуват отделни СПД както за електрически, така и за магнитни полета, както и за контактния ток.

С нарастването на честотата, полетата стават по-тясно свързани и взаимодействието им с човешкото тяло се променя, като води до поглъщане на енергия и топлинни ефекти. При тези честоти съществуват СПД както за електрически, така и за магнитни полета. При честоти над 6 GHz се добавят СПД за плътност на мощността, които се отнасят както до електрическите, така и до магнитните компоненти. Допълнително съществуват СПД за индуцирани електрически токове в крайниците, които също са свързани с топлинни ефекти, както и СПД за контактни токове.

Тази сложна система за определяне и прилагане на СПД цели да осигури безопасна работна среда и минимизиране на рисковете, свързани с експозицията на електромагнитни полета.

Важно е работодателите да се адаптират към техническия прогрес и към научни познания по отношение на рисковете, свързани с експозицията на електромагнитни полета, с оглед подобряването на безопасността и опазването на здравето на работниците.

Отговорността на работодателите е да прилагат тези стойности съгласно установените норми и да осигурят подходящи мерки за защита на своите работници, като по този начин съблюдават както националните, така и международните законодателни изисквания. Този процес в алгоритмичен вид е представен на фиг. 1.

В повечето случаи граничните стойности на експозиция (ГСЕ) са определени спрямо величини вътре в човешкото тяло, които не могат да бъдат директно измерени или изчислени с точност. Поради тази причина, в член 3 (чл. 6) от Директивата за електромагнитни полета (ЕМП) са въведени стойности за предприемане на действие (СПД), които се базират на измерими или изчислими величини на външните полета. Тези СПД са по-лесни за установяване чрез стандартни методи за измерване или моделиране.

СПД са дефинирани в Приложения II (№ 2) и III (№ 3) към Директивата за ЕМП, които уточняват допустимите нива на външни полета за различни честотни диапазони и видове полета. Ако тези СПД не са надвишени, се приема, че експозицията на работниците отговаря на изискванията за ГСЕ, което премахва необходимостта от допълнителна и по-сложна оценка.

В определени случаи, обаче, може да бъде разрешено надвишаване на някои СПД. Това е обосновано в самия член 3 (чл. 6) на директивата, където са дадени конкретните условия и изисквания, които трябва да бъдат спазени, за да се гарантира безопасността на работниците дори при такива отклонения. Тези условия обикновено включват допълнителни мерки за контрол и наблюдение на експозицията, за да се осигури, че дългосрочните здравни ефекти са сведени до минимум.

По този начин, стойностите за предприемане на действие (СПД) служат като ключов индикатор в процеса на оценка на риска, като улесняват мониторинга и управлението на излагането на електромагнитни полета и осигуряват съответствие с ГСЕ, без да се налага сложно и ресурсоемко измерване на вътрешните величини в тялото.

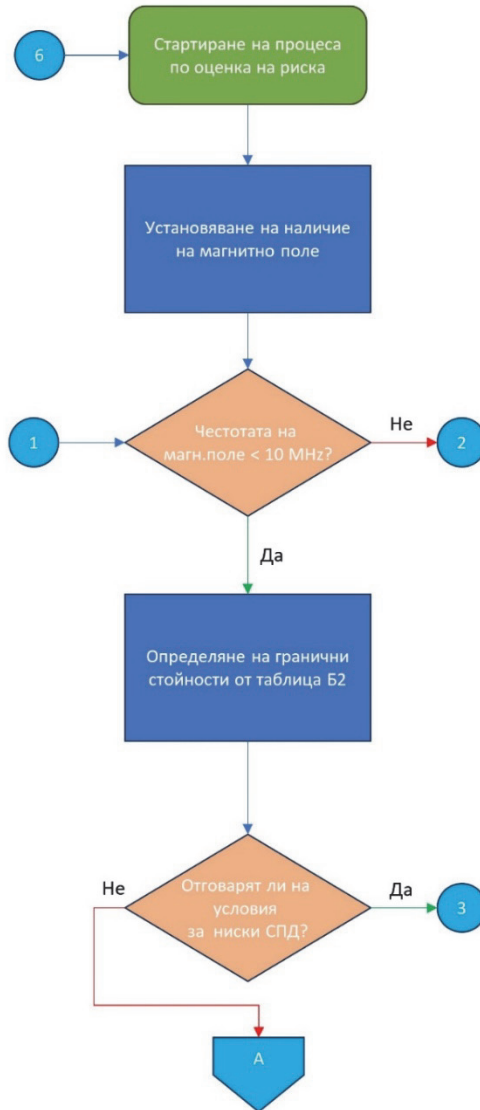
Разполагането със система, която включва ГСЕ и СПД, когато е приложимо, следва да се разглежда като средство за по-лесно осигуряване на високо равнище на защита срещу вредни за здравето последици и рискове за безопасността, които могат да се дължат на експозицията на електромагнитни полета.

### 1.1. Нискочестотни електрически полета (1 Hz до 10 MHz)

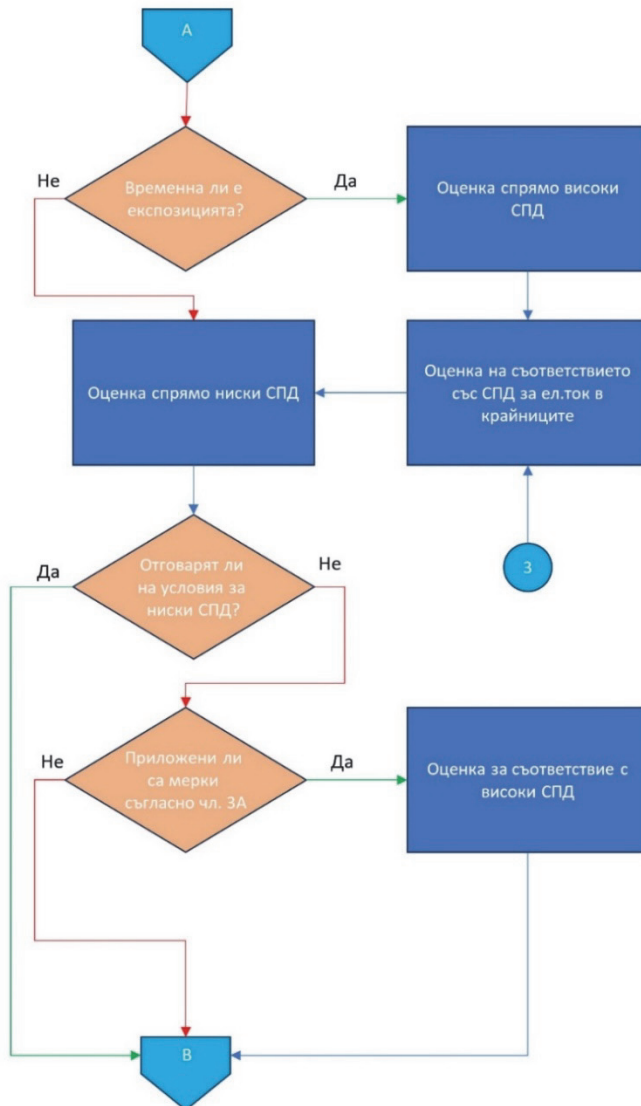
Нискочестотните електрически полета предизвикват сходни въздействия върху нервната система и мускулите, както и магнитните полета, включително стимулиране и дразнене на тези тъкани. Въпреки това, първите признаци за наличието на силни електрически полета често се проявяват като движение или вибрация на фините косъмчета по повърхността на кожата, което работниците могат да усетят. Допълнително, при контакт с незаземени проводящи предмети в такова поле, работниците могат да изпитат ефекти от електрически ток.

Вибрирането на космите по тялото може да предизвика усещане за дискомфорт и разсейване, което би могло да намали концентрацията и да затрудни изпълнението на задачите. Пораженията от електрически ток, при допир до незаземени предмети, могат да варират по интензивност – от леко дразнещи и неприятни усещания до болка, в зависимост от силата на електрическото поле. В определени случаи, контактът с

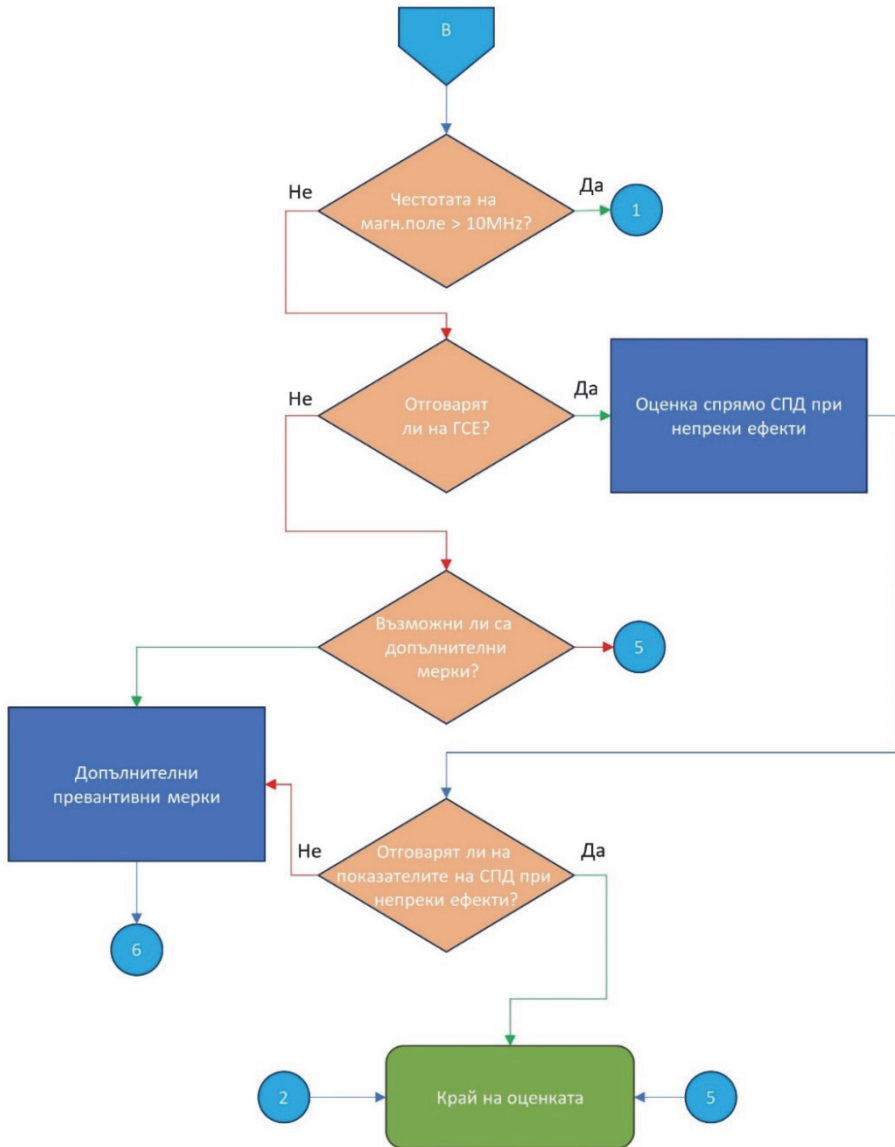
предмети в силни електрически полета може да доведе и до локални изгаряния, причинени от преминаването на електрически ток през кожата.



Фиг. 1. Алгоритъм за вземане на решение, относно съответствието със СПД или ГСЕ – 1 част.



Фиг. 2. Алгоритъм за вземане на решение, относно съответствието със СПД или ГСЕ – 2 част /продължение/.



Фиг. 3. Алгоритъм за вземане на решение, относно съответствието със СПД или ГСЕ – 3 част

Тези ефекти подчертават необходимостта от внимателна оценка на рисковете и прилагането на подходящи защитни мерки за работниците, изложени на силни ниско-честотни електрически полета, с цел минимизиране на неприятните и потенциално опасни последици от излагането.

## II. АЛГОРИТЪМ ЗА ОЦЕНКА ЗА ЕКСПОЗИЦИЯТА ПРИ НИСКОЧЕСТОТНИ МАГНИТНИ ПОЛЕТА

Настоящият алгоритъм представя процеса по оценяване на експозицията на работното място при нискочестотни магнитни полета във връзка с Директивата за ЕМП (фиг. 1, 2, 3).

Електромагнитните полета (ЕМП) представляват сложни физични фактори, характеризиращи се с динамични промени както във времето, така и в пространството. В зависимост от конкретната ситуация на работното място, експозицията може да бъде доминирана от електрическата или магнитната компонента на електромагнитното вълново поле (ЕМВ). Възможно е вълните да трептят на една определена честота или да се състоят от множество честоти с неравномерни трептения или импулсни модели.

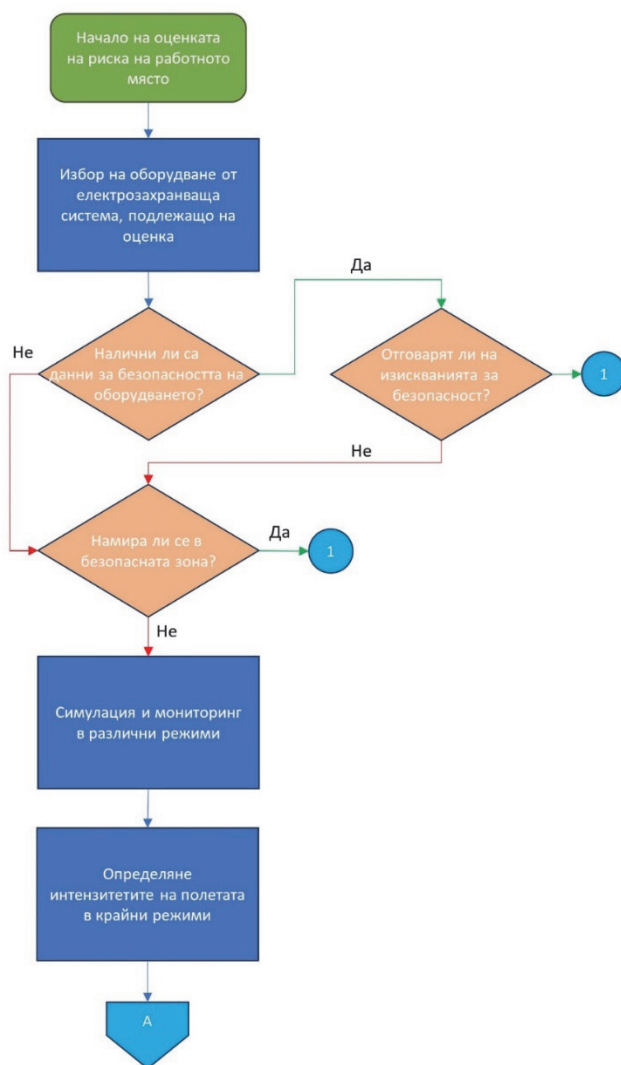
Честотата и амплитудата на тези полета също могат да се променят в течение на времето в зависимост от цикъла на работа на съответното оборудване.

При някои работни ситуации, особено в специфични промишлени отрасли, може да се наложи провеждането на измервания за съпоставка със стойностите за предприемане на действие (СПД), определени съгласно изискванията на Директивата за ЕМП. В определени случаи, където измерванията не предоставят достатъчно информация или когато полетата са със сложна структура, е необходимо да се прибегне до използването на изчислителни техники за оценяване на експозицията спрямо граничните стойности на експозиция (ГСЕ). Тези техники позволяват по-прецизна оценка и анализ на експозицията на работниците.

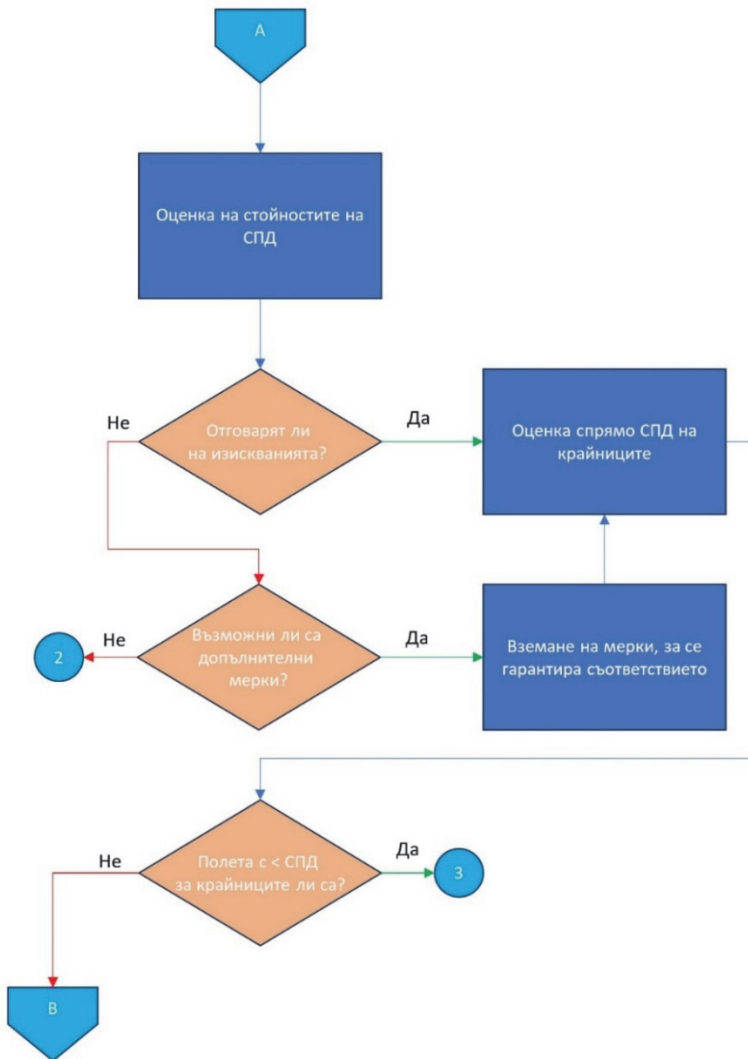
Въпреки че методиките, базирани на изчислителни модели, обикновено изискват повече време и ресурси и са по-скъпи за прилагане, те осигуряват по-точни оценки на експозицията и спомагат за намаляване на несъответствията в сравнение с по-опростените методи на измерване. Това е особено важно при сложни условия, където динамичните промени в честотата и амплитудата на електромагнитните полета могат да създадат предизвикателства при оценката на рисковете и предприемането на адекватни превантивни мерки.

При ниски честоти, ако се установи надвишаване на долните нива на стойностите за предприемане на действие (СПД), работодателят е задължен да извърши допълнителна оценка спрямо горните нива на СПД. В случай че измерванията показват, че нивата са под горните СПД, работодателят може да избере между две основни действия: или да предприеме защитни и превантивни мерки, включително обучение на работниците, или да направи оценка за доказване на съответствие с граничните стойности на експозиция (ГСЕ) по отношение на чувствителността.

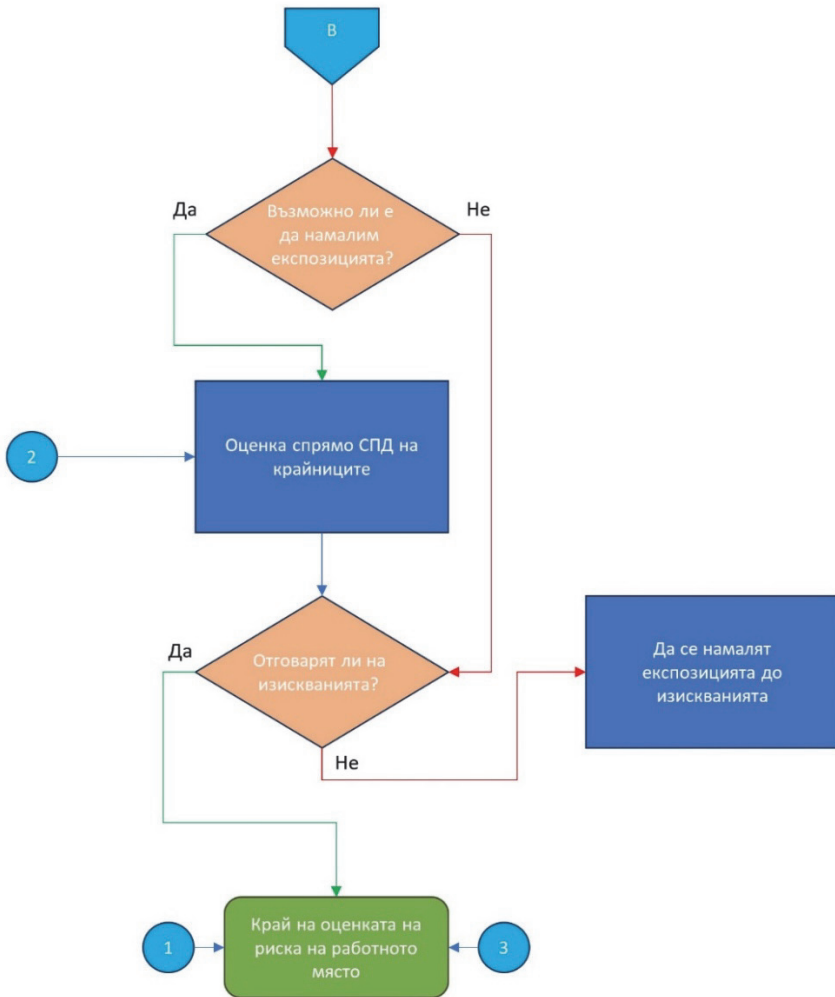
Ако измерените стойности на полетата надвишават горните СПД, е необходимо да се вземе предвид пространственият обхват на полето и подложената на експозиция част от тялото на работника. Ако е уместно, полетата следва да се сравнят със СПД за крайниците. В случай че експозицията не е локална или локалната експозиция превишава СПД за крайниците, работодателят има две опции: да въведе защитни и/или превантивни мерки или да пристъпи към оценка за съответствие с ГСЕ.



Фиг. 4. Диаграма за избор на СПД по отношение на преките ефекти – 1 част



Фиг. 5. Диаграма за избор на СПД по отношение на преките ефекти – 2 част



Фиг. 6. Диаграма за избор на СПД по отношение на преките ефекти – 3 част

**Гранични стойности на експозиция и изисквания**

Директивата за ЕМП определя ГСЕ, чието главно предназначение е да ограничи индуцираните електрически полета и специфичната погълната мощност (СПМ) в тялото. Тези величини, обаче, не могат лесно да бъдат измерени директно, поради което оценките на съответствието обикновено се основават на сложни техники на числено моделиране. Въпреки това, за някои случаи съществуват и методи за директни измервания.

Работодателите трябва да гарантират, че експозицията на работниците на електромагнитни полета се ограничава до ГСЕ по отношение на последиците за здравето и ГСЕ по отношение на ефектите за чувствителността и за термичните ефекти. Спазването на ГСЕ по отношение на последиците за здравето и ГСЕ по отношение на ефектите за чувствителността трябва да бъде установено чрез използване на съответните процедури за оценка на експозицията. Ако експозицията на работниците на електромагнитни полета надвишава ГСЕ, работодателят предприема незабавни действия.

СПД предоставят консервативна оценка на максималните външни полета, на които работникът може да бъде изложен, без да се надвишат съответните ГСЕ. В случаите, когато измерванията показват, че СПД могат да бъдат надвишени, може да се наложи извършването на дозиметрична оценка за определяне на съответствието с ГСЕ.

### *Дози и честоти*

Граничните стойности на експозиция (ГСЕ) включват величини като интензитет на индуцираните електрически полета, специфична погълната мощност (СПМ) и плътност на мощността. Въздействията върху здравето, а следователно и дозите, зависят в значителна степен от честотата на полето. При ниски честоти директивата определя ГСЕ като индуцирани интензитети на електрическите полета, докато при по-високи честоти се използват СПМ и плътност на мощността като критерии за оценка.

### *Препоръка на Съвета на Европейския съюз*

За да защити населението, Съветът на Европейския съюз прие Препоръка относно ограничаването на експозицията на населението на електромагнитни полета (1999/519/ЕО). Тази препоръка установява рамка за защита на населението от известни вредни последици за здравето, които могат да произтекат от експозицията на електромагнитни полета. Важно е да се отбележи, че тази препоръка е необвързваща и не разглежда защитата на работниците. Въпреки това, тя въвежда система от основни ограничения, които представляват стойности, еквивалентни на ГСЕ, дефинирани в Директивата за ЕМП.

Тази структура позволява координиран подход към защитата на здравето както за работещите, така и за населението, осигурявайки ясни и приложими стандарти за оценка и контрол на излагането на електромагнитни полета.

Тъй като основните ограничения са дефинирани предимно на база вътрешните електромагнитни полета, които не могат да бъдат директно измерени, Препоръката на Съвета установява също и система от референтни нива. Тези референтни нива се определят чрез измерими величини на външните полета, които могат да бъдат оценени по-лесно. Референтните нива се извличат от основните ограничения чрез консервативни подходи, според които, ако референтното ниво не е надвишено, се предполага, че и съответното основно ограничение няма да бъде надвишено. Важно е да се отбележи, че референтните нива са базирани на най-лоши сценарии, което означава, че в някои случаи референтните нива могат да бъдат надвишени, без основните ограничения да бъдат нарушени.

По същество, референтните нива, установени в Препоръката на Съвета, са еквивалентни на стойностите за предприемане на действие, определени в Директивата за ЕМП. Препоръчва се на държавите членки при прилагането на системите за основни ограничения и референтни нива да вземат предвид както рисковете, така и предимствата на технологиите, които генерират електромагнитни полета. Освен това, държавите членки се насърчават да предоставят информация на населението относно тези

полета и да стимулират научни изследвания, свързани със здравните последици от експозицията на електромагнитни полета.

Препоръката на Съвета също така приканва Европейската комисия да допринесе за защитата на населението, като работи за създаване на европейски стандарти, които да подкрепят системата за защита, установена от препоръката. Комисията е поканена да насърчава изследвания върху дългосрочните и краткосрочните ефекти от експозицията, както и да работи за постигане на международен консенсус в тази област. Също така, тя е задължена да осъществява редовен преглед на въпросите, обхванати от препоръката.

В крайна сметка, системата за защита, описана в Препоръката на Съвета, е широко възприета като рамка за защита на населението от въздействието на електромагнитни полета. В частност, посочените в препоръката референтни нива са се утвърдили като основа за управление на експозицията в много публично достъпни зони. Този подход осигурява балансирано и научно обосновано управление на рисковете, произтичащи от електромагнитните полета, като същевременно предоставя основа за координиране на изследванията и разработването на стандарти на европейско ниво.

Техническите стандарти, свързани с електромагнитните полета (ЕМП), се разработват от организации като Международната електротехническа комисия (IEC), Европейския комитет за стандартизация в електротехниката (CENELEC) и други специализирани органи в областта на стандартизацията. CENELEC вече е създал редица стандарти, насочени към трудова експозиция и оценка на ЕМП. Важно е да се отбележи, че тези стандарти са разработени в контекста на предишната Директива за ЕМП. Следователно, стандартите, датиращи от 2013 г. или по-рано, не трябва да се използват за оценяване на съответствието с настоящата Директива за ЕМП.

Някои от съществуващите стандарти все още позволяват оценка на съответствието с Препоръката на Съвета (1999/519/ЕС). Според член 4, параграф 6 от Директивата за ЕМП, не е необходимо работодателите да извършват оценки на експозицията на работни места, които са достъпни за обществеността и за които чрез оценка е доказано съответствието с Препоръката на Съвета. Това обаче зависи от спазването на изискванията за експозицията на обществеността и липсата на рискове за здравето и безопасността на работниците Алгоритъм за такава оценка на риска е представен на фигури 4, 5 и 6.

CENELEC също така е публикувал продуктови стандарти, хармонизирани с различни директиви за продукти. Списъци със стандарти, хармонизирани спрямо всяка директива, са публикувани в раздела за предприятия на уебсайта на Европейската комисия. Тези стандарти служат на производителите и доставчиците като инструмент за доказване на съответствие с изискванията за безопасност относно ЕМП. Когато оборудването е предназначено за обществено ползване и съответства на по-строги правила за безопасност, наложени за такова оборудване, и при условие че не се използва друго оборудване, работното място се счита за съответстващо с Препоръката на Съвета (1999/519/ЕО).

### ***Видове стандарти за емисии и експозиция***

Стандартите за ЕМП обикновено се делят на два основни типа:

- **Стандарти за емисии** – Тези стандарти се отнасят до емисиите от оборудването и предоставят начин за производителите да демонстрират, че излъчваните от продукта полета не надвишават определена граница. Границите обикновено са определени като СПД или ГСЕ съгласно Директивата за ЕМП, или съгласно стойностите в

Препоръката на Съвета (1999/519/ЕО). Тези стандарти са валидни, ако оборудването се използва по предназначение, както е определено от производителя.

• **Стандарти за оценка на експозицията** – Те предоставят стандартизирани методики за оценка на експозицията в специфични индустрии или за определени видове технологии. При оценката на работното място е важно да се вземат предвид всички аспекти на работа с оборудването, включително неговото почистване и поддръжка.

Специфики и предизвикателства при комбинирана експозиция

Докато стандартите за емисии трябва да гарантират, че съвкупната експозиция на емисиите от едно устройство е ниска, експозицията на работното място може да включва повече от един източник на ЕМП. Съществува риск кумулативната експозиция от няколко източника, дори ако всяка от тях сама по себе си е съвместима със СПД или ГСЕ, да доведе до надвишаване на допустимите граници. Въпреки това, тъй като интензитетът на полетата обикновено намалява с увеличаване на разстоянието, комбинираните полета обикновено остават в съответствие с допустимите стойности, ако оборудването е правилно разположено.

### *Нови технически стандарти*

CENELEC продължава да разработва нови стандарти, насочени към постигане на съответствие с актуализираната Директива за ЕМП. Разработката на тези стандарти се извършва от Техническа комисия CLC/TC106X: „Електромагнитни полета в човешката среда“. Напредъкът в разработката на нови стандарти може да бъде проследен на уебсайта на CENELEC в раздела, посветен на TC106X. Очаква се този процес да отнеме време, но новите стандарти ще бъдат публикувани веднага след одобрението им.

В заключение, при оценката на експозицията на ЕМП, стандартите играят важна роля в осигуряването на безопасност и съответствие с регулаторните изисквания. Те предоставят рамка за производителите и работодателите, чрез която се гарантира безопасността на работниците и обществеността в съответствие с най-новите директиви и препоръки.

### **Литература:**

- [1]. Analysis of the power loss and quantification of the energy distribution in PV module, Lu Shen, Zhenpeng Li, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114333>
- [2]. <https://xn--80ajamiccthtvc4b5g.xn--p1ai/info/publikatsii>
- [3]. Isidoro Lillo-Bravo, Pablo González-Martínez, Miguel Larrañeta and José Guasumba-Codena, Impact of Energy Losses Due to Failures on Photovoltaic Plant Energy Balance, *Energies* 2018, 11(2), 363; <https://doi.org/10.3390/en11020363>
- [4]. Ashwin Sharma, Nikunj Singh, Suresh Kumar Gawre, Operational Losses of a Solar Power Plant: a Case Study, 2021 IEEE 2nd International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)MANIT, Bhopal, India. Dec 10-11, 2021
- [5]. Sushil Patel, Deepa Golani, Loss Analysis of Grid Connected Solar PV System: A Review, *International Journal of Research in Engineering, Science and Management* Volume-2, Issue-3, March-2019 [www.ijresm.com](http://www.ijresm.com) | ISSN (Online): 2581-5792
- [6]. Behzad Hashemi, Shamsodin Taheri, Ana-Maria Cretu, Edris Pouresmaeil, Systematic photovoltaic system power losses calculation and modeling using computational intelligence techniques, *Applied Energy*, Volume 284, 15 February 2021, 116396

- [7]. Behzad Hashemi, Computational intelligence-based photovoltaic system performance modeling in snow conditions, Thesis Presented to Département d'informatique et d'ingénierie Université du Québec en Outaouais (UQO) In partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Ph.D. June 2023
- [8]. Israel, Michel, Ivanova, Michaela, Shalamanova, Tsvetelina and Zaryabova, Victoria, 2021, A Guide of Non-Ionizing Radiation Protection, ISBN 978-954-8404-35-8, Publisher: NCPHA
- [9]. Незадължително ръководство за добри практики при прилагане на Директива 2013/35/ЕС за електромагнитните полета Том 1: Практическо ръководство, . ISBN 978-92-79-45888-0 (PDF), doi:10.2767/332698 (PDF), Европейски съюз, 2015 г.
- [10]. Практическо ръководство за добри практики при прилагане на Директива 2013/35/ЕС за електромагнитните полета Том 2: Проучвания на конкретни случаи, ISBN 978-92-79-45918-4 doi:10.2767/157601, Европейски съюз, 2015 г.
- [11]. Незадължително ръководство за добри практики при прилагане на Директива 2013/35/ЕС за електромагнитните полета РЪКОВОДСТВО за малки и средни предприятия (МСП), ISBN 978-92-79-45999-3 (print) — ISBN 978-92-79-45977-1 (pdf) doi:10.2767/031997 (print) – doi:10.2767/710494 (pdf), Европейски съюз, 2015 г.
- [12]. Мишел Израел, проф. дм, Михаела Иванова, доц. дм, Цветелина Шаламанова, дм, Виктория Зарябова, Ръководство по защита от нейонизиращите лъчения, НЦ по ОЗ и анализи, ISBN 978-954-8404-35-8
- [13]. Радостин Долчинков, Христо Михайлов, ИНЖЕНЕРИНГОВА БЕЗОПАСНОСТ ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ЕНЕРГИЙНИ СИСТЕМИ, БСУ - ГОДИШНИК Том XLVIII, 2023, с.330-345, ISSN: 1311-221X
- [14]. Ginko Georgiev, Silvija Letskovska, Study Of Possible Causes Of Failure Asynchronous Motors, Списание „Компютърни науки и комуникации”, ISBN 978-619-7126-57-0, Vol 5 № 2 (2016), стр. 33-36 БСУ, Бургас, Списание „Компютърни науки и комуникации, 2016
- [15]. Silviya, A., Letskovska, Nikolay, A., Mollov Eldar, D., Zaerov, Inspection Of Buildings For Energy Efficiency, ICTRS '21, November 15, 16, 2021, Virtual Conference, Bulgaria ACM ISBN 978-1-4503-9018-7/21, 2021, p. 37-42
- [16]. Пламен А. Ангелов, Димитър Юдов, Ангел Тошков, „Оценка на влиянието на електромагнитното поле върху човека. Сравнение между препоръчителни и измерени стойности”, Телеком 2009, 9-10 Октомври, Варна, ISBN 978-954-90156-6-9, стр. 191-197
- [17]. Пламен А. Ангелов, Димитър Юдов, Ангел Тошков, „ИЗСЛЕДВАНЕ ПЛЪТНОСТТА НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИ ИЗЛЪЧВАНИЯ В ГРАД БУРГАС”, Телеком 2009, 9-10 Октомври, Варна, ISBN 978-954-90156-6-9, стр. 206-213
- [18]. Matsankov M., S. Petrov, Induced Voltage Modeling for a Disconnected Ungrounded Conductor of a Three-Phase Power Line, 4th International Conference on Power and Energy Technology 2022 (ICPET), SCOPUS, DOI: 10.1109/ICPET55165.2022.9918489
- [19]. Garvanov, I., Petrov, N., Garvanova, M., Geshev, N., Kostadinov, T., „Detection of signals from pulsars through hough transform“, In proceedings of XVII International scientific congress, Machines. technologies. materials, issue 2, p.p.66-69, 09 - 12.09.2020, Varna, Bulgaria, 253-003X