

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н.КАРАЗІНА**

ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра безпеки життєдіяльності

**ЗАТВЕРДЖУЮ  
ЗАВІДУЮЧИЙ КАФЕДРИ**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

\_\_\_\_\_ доцент Адаменко М.І.  
(науковий ступінь, наукове звання, прізвище та ініціали автора)

ЛЕКЦІЯ №1  
ТЕХНОГЕННІ НЕБЕЗПЕКИ ТА ЇХНІ НАСЛІДКИ. ТИПОЛОГІЯ АВАРІЙ  
НА ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ’ЄКТАХ.  
(повне найменування теми лекції)

З навчальної дисципліни Безпека життєдіяльності

Обговорено на засіданні кафедри

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Протокол № \_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

### ВСТУП

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

1. **Механічні небезпеки.**
2. **Механічні коливання.**
3. **Електромагнітні поля (ЕМП)**

### ЛІТЕРАТУРА

1. Типова навчальна програма нормативної дисципліни «безпека життєдіяльності» для вищих навчальних закладів, затверджена заступником міністра освіти і науки, молоді та спорту України 31.03.2011р.
2. Безпека життєдіяльності: Навч. посіб. / О.С. Баб'як, О.М. Сітенко, І.В. Ківва та ін. – Х.: Ранок, 2000. – 304 с.
3. Заплатинський В. М. Полімовний тлумачний словник з безпеки. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 120 с. ISBN 978-911-01-0002-1
4. Заплатинський В., Матис Й. Безопасность в эру глобализации. Монография. – ЦУЛ, 2010.- 142.
5. Іванова І.В., Заплатинський В.М., Гвозд'ї С.П. "Безпека життєдіяльності" навчально-контролюючі тести. – Київ: "Саміт-книга", 2005. – 148 с.

## ВСТУП

### 1. МЕХАНІЧНІ НЕБЕЗПЕКИ

Під механічними небезпеками розуміють такі небажані впливи на людину, походження яких обумовлене силами гравітації або кінетичною енергією тіл.

Механічні небезпеки створюються об'єктами природного та штучного походження, що падають, рухаються та обертаються. Наприклад, механічними небезпеками природної властивості є обвали та каменепади в горах, снігові лавини, селі, град та ін. Носіями механічних небезпек штучного походження є машини та механізми, різне обладнання, транспорт, будівлі та споруди та багато інших об'єктів, що діють в силу різних обставин на людину своєю масою, кінетичною енергією або іншими властивостями.

В результаті дії механічних небезпек можливі тілесні пошкодження різної важкості. Згідно статистиці кожного року в Росії в результаті дорожньо-транспортних пригод гинуть близько 100 чоловік і значно більша кількість отримує травми. Це більше, ніж від інших небезпек узятих разом.

Величину механічних небезпек можна оцінити по-різному. Наприклад, за кількістю руху  $mv$ , кінетичною енергією  $0,5 mv^2$ , запасеною енергією  $mgh$  ( $m$ ,  $v$  — маса та швидкість тіла відповідно,  $h$  — висота,  $g$  — прискорення вільного падіння).

Об'єкти, що являють собою механічну небезпеку, можна поділити за наявністю енергії на два класи: енергетичні та потенційні. Енергетичні об'єкти діють на людину, тому що мають той чи інший енергетичний потенціал. Потенційні механічні небезпеки позбавлені енергії. Травмування у цьому випадку може статися за рахунок енергії самої людини. Наприклад, колючі, ріжучі предмети (цвяхи, що стирчать, задирки, леза тощо) являють собою небезпеку при випадковому контакті людини з ними. До потенційних небезпек відносяться також такі небезпеки, як нерівні та слизькі поверхні, по яким рухається людина, висота можливого падіння, відкриті люки та ін. Перераховані безенергетичні небезпеки є причиною численних травм (переломів, вивихів, струсів головного мозку, падінь, забитих місць).

Механічні небезпеки поширені у всіх видах діяльності людей усіх вікових груп: серед дітей, школярів, домогосподарок, людей старшого віку в спортивних іграх, побутовій та виробничій діяльності.

Захист від механічних небезпек здійснюється різними способами, характер яких залежить від конкретних умов діяльності. Добре розроблені також способи надання до лікарняної допомоги та лікування наслідків механічних небезпек.

### 2. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ

До механічних коливань відносяться *вібрація, шум, інфразвук, ультразвук, гіперзвук*.

Загальною властивістю цих фізичних процесів є те, що вони пов'язані з перенесенням енергії. За певної величини та частоти ця енергія може справляти несприятливу дію на людину: викликати різні захворювання, створювати додаткові небезпеки. Тому необхідно вивчити властивості цих небезпечних явищ, вміти вимірювати параметри коливань і знати методи захисту від них.

**Вібрація** Вібрацією називаються механічні коливання, яким піддається яке-небудь тіло. Причиною вібрації є неурівноважені силові дії. Вібрація знаходить корисне застосування у медицині (вібраційний масаж) та у техніці (вібратори). Однак тривалий вплив вібрації на людину є небезпечним. Вібрація при певних умовах є небезпечною для машин та механізмів, тому що може викликати їх руйнування.

Розрізняють загальну і локальну (місцеву) вібрації.

Загальна вібрація викликає струс всього організму, місцева впливає на окремі частини тіла. Інколи працюючий може одночасно піддаватися загальній та місцевій вібрації (комбінована вібрація). Вібрація порушує діяльність серцево-судинної та нервової систем, викликає вібраційну хворобу. Особливо небезпечна вібрація на резонансних та навколо резонансних частотах (6-9 Гц).

Основними параметрами, що характеризують вібрацію, є: амплітуда зміщення, тобто величина найбільшого відхилення точки, що коливається, від положення рівноваги; амплітуда коливальної швидкості та коливального прискорення; період коливань – час між двома послідовними однаковими станами системи; частота  $f$ , що пов'язана з періодом певним співвідношенням:

$$f = 1/T.$$

Через специфічні властивості органів чуттів людини, для характеристики вібрації використовують середньоквадратичні швидкості  $V^2 = V^2 g_0$ .

Абсолютні значення параметрів вібрації вимірюються в широких межах. Тому зручніше користуватися рівнем параметрів. Рівень параметра – це десятикратний логарифм відношення абсолютної величини параметра до деякої величини, прийнятої за початок відліку (поріг, опорне значення). Вимірюються рівні у децибелах (дБ).

Рівень коливальної швидкості визначається за формулою:

$$L_v = 10 \lg \frac{V^2}{V_0^2} = 20 \lg \frac{V}{V_0}, \text{ дБ},$$

де  $V_0$  — опорне значення коливальної швидкості (м/с), вибране міжнародною угодою, що дорівнює  $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ .

Рівень  $L_v$  є основною характеристикою вібрації.

Спектри вібрації показують залежність між рівнями складових та частотою. Спектри бувають дискретні, суцільні та змішані. Дискретний спектр характерний для періодичного або квазіперіодичного коливального процесу, суцільний — для випадкового, змішаний — для їх сполучення. Зображення суцільного спектру вимагає обов'язкової обмовки щодо ширини  $\Delta f$  елементарних частотних смуг. Якщо  $f_1$  — нижня гранична частота даної смуги частот,  $f_2$  — верхня гранична частота, то у якості частоти, що характеризує смугу загалом, береться середня геометрична частота  $f = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$ . Аналіз вібрації ведеться в октавних смугах, при цьому  $f_2 / f_1 = 2$ , або у третьоктавних смугах, при цьому  $f_2 / f_1 = \sqrt[3]{2}$ , а  $f_{CG} = \sqrt[6]{2} f_1$ . Середні геометричні частоти октавних смуг стандартизовані і знаходяться в межах 1...2000 Гц.

*Нормування вібрації.* Розрізняють санітарно-гігієнічне та технічне нормування вібрації. Вібрація нормується за стандартами та іншими правилами і нормами. Для вимірювання вібрацій використовується апаратура типу «ИШВ», фірм RFT (Роботрон), «Брюль-К'єр».

*Захист від вібрації.* Існує кілька основних напрямків боротьби з вібрацією. Боротьба з вібрацією у джерелі її виникнення передбачає конструювання та проектування таких машин та технологічних процесів, у яких виключені або зменшені неурівноважені сили, відсутня ударна взаємодія деталей, замість підшипників кочення використовуються підшипники ковзання. Застосування спеціальних видів зачеплення та чистоти поверхні шестерні дозволяють зменшити рівень вібрації на 3—4 дБ. Усунення дисбалансу мас, що обертаються, досягається балансуванням.

*Відставка від режиму резонансу* досягається або зміною характеристик системи (маси та жорсткості) або зміною кутової швидкості. Характеристики жорсткості системи

вимірюються введенням у конструкцію ребер жорсткості або зміною її пружних характеристик.

*Вібродемпфування* — це зменшення вібрації об'єкту шляхом перетворення її енергії в інші види (у кінцевому рахунку — в теплову енергію). Збільшення втрат енергії можна досягти різними прийомами: застосуванням матеріалів з великим внутрішнім тиском; використанням пластмас; дерева, гуми; нанесенням шару пружних та в'язких матеріалів, що мають великі втрати на внутрішнє тертя (руберайд, фольга, мастики, пластичні матеріали тощо). Товщина покриття береться такою, що дорівнює 2–3 товщинам елементу конструкції в якому потрібно зменшити вібрації. Добре зменшують вібраційні коливання змащувальні мастила.

*Вібраційне гасіння* — це спосіб зменшення вібрації шляхом уведення в систему додаткових реактивних імпедансів (опорів). Частіше всього для цього вібруючі агрегати встановлюють на масивні фундаменти. Одним із способів збільшення реактивного опору є установка віброгасників. Найбільше поширення отримали динамічні віброгасники.

$$f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{\frac{q}{m}} = f$$

У цьому випадку підбираються віброгасники з масою  $m$  та жорсткістю  $q$ , власна частота яких  $f_0$  настроєна на основну частоту  $f$  агрегату, що має масу  $M$  та жорсткість  $Q$ .

Колівання віброгасника у кожний момент часу знаходяться у протилежній фазі з коливаннями агрегату.

Іншим типом віброгасників є буферні резервуари, що слугують для перетворення пульсуючого потоку газу в рівномірний.

*Віброізоляція* — це спосіб зменшення вібрації захищеного об'єкту за допомогою введення в систему пружного зв'язку, що перешкоджає передачі вібрації від джерела коливань до основи та суміжних елементів конструкцій. Ефективність віброізоляції оцінюється за коефіцієнтом передачі:

$$КП = \frac{F_{\text{ОСН}}}{F_{\text{МАШ}}},$$

де  $F_{\text{ОСН}}$  — сила, що діє на основу;  $F_{\text{МАШ}}$  — сила збурення, створювана машиною.

Чим менший КП, тим краща віброізоляція. Добра віброізоляція досягається за  $КП = 1/8 \dots 1/15$ . Коефіцієнти передачі можна розраховувати за формулою:

$$КП = \frac{1}{(f / f_0)^2 - 1},$$

де  $f$  — частота сили збурення;  $f_0$  — власна частота системи на ізоляторах. Ефективність віброізоляції звичайно оцінюють у децибелах, використовуючи формулу:

$$\Delta L = 20 \lg 1/КП$$

Прикладом вібраційного захисту можуть слугувати також гнучкі вставки у повітропроводах, «плаваючі підлоги», ізолюючі від вібрацій опори (для ізоляції машин з вертикальною силою збурення).

У промисловості знаходить застосування активний вібраційний захист, який передбачає введення додаткового джерела енергії (сервомеханізму), за допомогою якого здійснюється зворотній зв'язок від об'єкту, що ізолюється, до системи вібраційної ізоляції. Для захисту від вібрації застосовуються спеціальні засоби індивідуального захисту (рукавиці).

**Шум.** Будь-який небажаний звук називають шумом. Шум шкідливий для здоров'я, зменшує працездатність, підвищує рівень небезпеки. Тому необхідно передбачати заходи захисту від шуму. А для цього потрібно володіти відповідними знаннями.

*Фізичні характеристики шуму.* Шум – це механічні коливання, що поширюються у твердому, рідкому та газоподібному середовищі. Частки середовища при цьому коливаються відносно положення рівноваги. Звук поширюється у повітрі зі швидкістю 344 м/с.

Шум створюється джерелом, яке має певну потужність  $P$ . Потужність, яка припадає на одиницю площі, перпендикулярної до напрямку поширення звука, називається *інтенсивністю* звука  $g$ . Якщо джерело шуму знаходиться у сфері радіуса  $r$ , то середня інтенсивність звука на поверхні цієї сфери дорівнює:

$$g_{\text{CP}} = \frac{P}{4r^2} \cdot 1/\pi, \text{ Вт/м}^2$$

Тиск  $P$ , що виникає в середовищі при проходженні звука, називається акустичним. Він вимірюється у  $\text{Н/м}^2$  або Па. На слух діє квадрат звукового тиску. Інтенсивність звуку пов'язана зі звуковим тиском через залежність:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}$$

Абсолютні значення інтенсивності та тиску змінюються у широких межах. Користуватися абсолютними значеннями цих характеристик шуму незручно. Крім того відчуття людини пропорційні до логарифма подразника (закон Вебера-Фехнера). Тому введені особливі показники, так звані рівні, які виражені у децибелах (дБ). Рівень інтенсивності шуму визначається за формулою:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}, \text{ дБ}$$

де  $I_0$  — інтенсивність, що відповідає порогу чутності,  $I_0 = 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$ .

Рівень звукового тиску дорівнює:

$$L_P = 10 \lg \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \lg \frac{P}{P_0}, \text{ дБ}$$

де  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2 = \text{Па}$  — тиск порогу чутності.

Слуховий апарат людини найбільш чутливий до звуків високої частоти. Тому для оцінки шуму необхідно знати його частоту, яка вимірюється в герцах (Гц), тобто числом коливань на секунду. Вуху людини сприймає звукові коливання у межах 16...16000 Гц. Нижче 16 Гц та вище 16000 Гц знаходяться відповідно області нечутних людиною інфразвуків та ультразвуків. Залежність рівнів від частоти називається спектром шуму. Спектри шуму (як і вібрації) бувають дискретними, суцільними та змішаними. У суцільних спектрах інтервали між частотними складовими безкінечно малі.

На практиці, для боротьби з шумом використовуються октавні смуги, тобто  $f_2/f_1 = 2$ . Використовується такий ряд середньо-геометричних октавних смуг: 63, 125, 250, 500, 2000, 4000, 8000 Гц. Спектри показуються у вигляді таблиць або графіків.

Суб'єктивне сприйняття шуму оцінюється за кривими рівної гучності.

Якщо необхідно знайти загальний рівень шуму кількох джерел, то додаються інтенсивності, але не рівні. Загальний рівень шуму  $L$  кількох однакових джерел  $n$  з рівнем  $L_1$  дорівнює  $L = L_1 + 10 \lg n$ , дБ.

Джерела шуму можуть випромінювати енергію за напрямками нерівномірно. Ця нерівномірність характеризується коефіцієнтом  $\Phi$ , що дорівнює:

$$\Phi = \frac{I}{I_c} = \frac{P^2}{P_c^2}$$

У знаменнику середнє значення інтенсивності та тиску (вважається, що енергія випромінюється в сферу).

Спрямованість характеризують показником спрямованості ПС:

$$ПС = 10 \lg \Phi = 20 \lg \frac{P}{P_c} = L - L_c.$$

Рівні звукового тиску, створювані однією і тою самою машиною, можуть суттєво відрізнятися у залежності від умов улаштування: у приміщенні або на відкритому повітрі. Але звукова потужність залишається незмінною. Рівень звукової потужності  $L_p = 10 \lg P/P_0$ , дБ, де  $P_0$  – порогова потужність, що дорівнює  $10^{-12}$  Вт.

Встановлені такі методи визначення шумових характеристик машин:

1. метод звукового поля;
2. метод відбитого звукового поля;
3. метод зразкового джерела шуму;
4. метод вимірювання шумових характеристик на відстані 1 м від зовнішнього контуру машини.

Найбільш точні перші два методи:

Шкідливий вплив шуму залежить і від тривалості перебування людини у несприятливих у акустичному відношенні умовах. Тому введено поняття дози шуму. Доза шуму —  $D$  в  $\text{Па}^2 \cdot \text{год}$ . — інтегральна величина, що враховує акустичну енергію, що діє на людину за певний період часу. Доза шуму визначається за формулою:

$$D =$$

Допустима доза шуму дорівнює:

$$D_{\text{доп}} = P_{\text{А, доп}}^2 T_{\text{р.д.}}$$

де  $P_{\text{А, доп}}$  — допустимий тиск (за шкалою А), Па;  $T_{\text{р.д.}}$  — тривалість дії шуму, год.

*Нормування шуму.* Нормування може здійснюватися кількома методами:

- а) за граничним спектром ГС. ГС — це вісім нормативних рівнів звукового тиску на частотах від 31,5 до 8000 Гц (в октавних смугах); б) нормування рівня звуку в дБА; в) за дозою шуму;

*Методи боротьби з шумом.* Завданнями акустичного розрахунку є:

1. визначення рівня звукового тиску в розрахунковій точці, коли відоме джерело шуму та його шумові характеристики;

2. визначення величини зменшення шуму.

3. розробка заходів із зменшення шуму до допустимої величини.

Для зменшення шуму можуть бути застосовані наступні методи:

1. зменшення шуму в джерелі;

2. зміна спрямованості випромінювання;

3. раціональне планування підприємств та цехів, акустична обробка приміщень;

4. зменшення шуму на шляху його поширення;

5. засоби індивідуального захисту від шуму.

*Вимірювання шуму.* Вимірювання шуму виконують з метою визначення рівнів звукових тисків на робочих місцях та відповідності їх санітарним нормам, а також для розробки та оцінки ефективності різних заходів з глушіння шуму.

Основним приладом для вимірювання шуму є шумомір. У шумомірі звук, що сприймається мікрофоном, перетворюється у електричні коливання, які підсилюються,

потім проходять через фільтри корекції та випрямляч і реєструються приладом зі стрілкою.

Діапазон вимірюваних сумарних рівнів шуму звичайно складає 30–130 дБ за частотних меж, що дорівнюють 5—8000 Гц.

Шумоміри мають перемикач, що дозволяє виконувати виміри за трьома шкалами: А, В, С (або за лінійною шкалою).

У шумомірах використовують електродинамічні та конденсаторні мікрофони.

Для визначення спектрів шуму шумомір підключають до фільтрів та аналізаторів.

У ряді випадків шум записується на магнітофон (через шумомір) а потім в лабораторних умовах аналізується.

Вимірювання шуму на робочих місця промислових підприємств виконують на рівні звуку 2/3 включеного працюючого обладнання.

У теперішній час для вимірювань шуму використовують вітчизняні шумоміри Ш-70, прилад ШВ в комплекті з октавними фільтрами. Для аналізу шуму застосовують спектрометр С34.

Із закордонних приладів добрі характеристики мають акустичні комплекти фірм «RFT» та «Брюль і К'єр».

**Інфразвук.** Область коливань, нечутна для людини. Звичайно верхньою границею інфразвукової області вважають частоти 16—25 Гц. Нижня границя інфразвуку невизначена.

Інфразвук виникає в атмосфері, в лісі, на морі (так званий голос моря). Джерелом інфразвуку є грім, вибухи, гарматні постріли, землетруси.

Для інфразвуку характерне мале поглинання. Тому інфразвукові хвилі у повітрі, воді та в земній корі можуть поширюватися на дуже великі відстані. Ця властивість інфразвуку використовується як передвісник стихійних лих, для дослідження властивостей атмосфери та водяного середовища води.

Захист від інфразвуку являє собою серйозну проблему.

**Ультразвук.** Ультразвук знаходить широке застосування у металообробній промисловості, машинобудуванні, металургії тощо. Частота застосовуваного ультразвуку від 20 кГц до 1 мГц, потужності — до кількох кіловат.

Ультразвук справляє шкідливий вплив на організм людини. У працюючих з ультразвуковими установками нерідко спостерігаються функціональні порушення нервової системи, зміни тиску, складу та властивості крові. Частішають скарги на головні болі, швидку втомлюваність, втрату слухової чутливості.

Ультразвук може діяти на людину як через повітряне середовище, так і через рідке або тверде (контактна дія на руки).

Рівні звукових тисків в діапазоні частот від 11 до 20 кГц не повинні перевищувати відповідно 75—110 дБ, а загальний рівень звукового тиску в діапазоні частот 20—100 кГц не повинен перевищувати 110 дБ.

Захист від дії ультразвуку при повітряному опроміненні може бути забезпечений:

- ◆ шляхом використання в обладнанні більш високих частот, для яких допустимі рівні звукового тиску вищі;

- ◆ шляхом застосування обладнання, що випромінює ультразвук, у звукоізолюючому виконанні (типу кожухів). Такі кожухи виготовляють з листової сталі або дюралюмінію (товщиною 1 мм) з обклеюванням гумою або руберойдом, а також із гетинаксу (товщиною 5 мм). Еластичні кожухи можуть бути виготовлені з трьох шарів гуми загальною товщиною 3–5 мм. Застосування кожухів, наприклад, в установках для

очищення деталей, дає зменшення рівня ультразвуку на 20–30 дБ у чутному діапазоні частот та 60–80 дБ – в ультразвуковому;

- ◆ шляхом улаштування екранів, у тому числі прозорих, між обладнанням та працюючим;

- ◆ шляхом розташування ультразвукових установок у спеціальних приміщеннях, загородках або кабінах, якщо перерахованими вище заходами неможливо отримати необхідний ефект.

Захист від дії ультразвуку при контактному опроміненні полягає в повному виключенні безпосереднього доторкання працюючих до інструмента, рідини та виробів, оскільки такий вплив найбільш шкідливий.

Завантажування та вивантажування деталей повинно виконуватися за умови, що джерело ультразвуку вимкнене. У тих випадках, коли вимикання установки небажане, застосовують спеціальні пристосування, наприклад, у ваннах для очищення виробу занурюють у ванну в сітках, споряджених ручками з ізолюючим від вібрації покриттям (шпариста гума, поролон тощо).

### 3. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПОЛЯ (ЕМП)

**Характеристики ЕМП.** Будь-яке електромагнітне явище, розглянуте загалом, характеризується двома сторонами — електричною і магнітною, між якими існує тісний зв'язок. *Електромагнітне поле* (ЕМП) також має завжди дві взаємопов'язані сторони — електричне поле і магнітне поле. Разом з тим можна створити умови, при яких у деякій області простору існують тільки електричні або тільки магнітні явища. Таким є, наприклад, випадок заряджених нерухомих тіл, зовні яких реєструється тільки електричне поле. Аналогічно в просторі, що оточує нерухомі постійні магніти, реєструється тільки магнітне поле. Як видно із розглянутих прикладів, мова йде тільки про статичні поля. Однак і в цих випадках, якщо розглядати явище загалом, неважко побачити як електричну так і магнітну сторону. Оскільки можна створити умови, за яких проявляється одна з складових ЕМП, то можливе і роздільне випромінювання електричного та магнітного полів, а також визначення тільки одного з полів у цілому ряді практичних завдань.

Електромагнітне поле являє собою особливу форму матерії. Будь-яка заряджена електрикою частинка оточена електромагнітним полем, що складає з нею єдине ціле. Але електромагнітне поле може існувати також у вільному, відокремленому від заряджених частинок, стані у вигляді фотонів, що рухаються з швидкістю близькою до  $3 \cdot 10^8$  м/с, або взагалі у вигляді випромінюваного електромагнітного поля (електромагнітних хвиль), що рухається з такою самою швидкістю.

ЕМП, що рухається (електромагнітне випромінювання ЕМВ), характеризується векторами напруженості електричного  $E$  (В/м) та магнітного  $H$  (А/м) полів, що відображають силові властивості ЕМП.

В електромагнітній хвилі вектори  $E$  і  $H$  завжди взаємно перпендикулярні. У вакуумі та повітрі  $E = 377 H$ . Довжина хвилі  $\lambda$ , частота коливань  $f$  та швидкість поширення електромагнітних хвиль в повітрі пов'язані із співвідношенням  $c = \lambda f$ . Наприклад, для промислової частоти  $f = 50$  Гц довжина хвилі  $\lambda = 3 \cdot 10^8 / 50 = 6000$  км, а для ультракоротких частот  $f = 3 \cdot 10^8$  Гц, довжина хвилі дорівнює 1 м. Навколо джерела ЕМП виділяють ближню зону, або зону індукції, яка знаходиться на відстані  $R \leq \lambda / 2\pi \approx \lambda / 6$ , та дальню зону, або зону випромінювання, у якій  $R > \lambda / 6$ . В діапазоні від низьких частот до

короткохвильових випромінювань частотою  $< 100$  МГц. ЕМП навколо генератора потрібно розглядати як поле індукції, а робоче місце — таким, що знаходиться в зоні індукції. У зоні індукції електричні та магнітні поля можна вважати незалежними одне від одного. Тому нормування у цій зоні ведеться як за електричною, та і за магнітною складовою. В зоні випромінювання (хвильовій зоні), де вже сформувалася електромагнітна хвиля, що біжить, найбільш важливим параметром є інтенсивність, яка у загальному вигляді визначається векторним добутком  $E$  на  $H$ , а для сферичних хвиль при розповсюдженні в повітрі може бути виражена так:

$$I = \frac{P_{дж}}{4R^2} \cdot 1/\pi, \text{ де } P_{дж} - \text{потужність випромінювання.}$$

*Джерела ЕМП та класифікація електромагнітних випромінювань. Природними джерелами електромагнітних полів та випромінювань є передусім: атмосферна електрика, радіовипромінювання сонця та галактик, електричне та магнітне поле Землі. Всі промислові та побутові електричні та радіоустановки є джерелами штучних полів та випромінювань, але різної інтенсивності. Перерахуємо найбільш суттєві джерела цих полів.*

Електростатичні поля виникають при роботі з матеріалами та виробами, що легко електризуються, а також при експлуатації високовольтних установок постійного струму.

Джерелами постійних та магнітних полів є: електромагніти, соленоїди, магнітопроводи в електричних машинах та апаратах, литі та металокерамічні магніти, використовувані в радіотехніці.

Джерелами електричних полів промислової частоти (50 Гц) є: лінії електропередач, відкриті розподільні пристрої, що вмикають комутаційні апарати, пристрої захисту та автоматики, вимірювальні прилади, збірні, з'єднувальні шини, допоміжні пристрої, а також всі високовольтні установки промислової частоти.

Магнітні поля промислової частоти виникають навколо будь-яких електроустановок і проводів струму. Чим більший струм, тим вища інтенсивність магнітного поля.

Джерелами електромагнітних випромінювань радіочастот є потужні радіостанції, антени, генератори надвисоких частот, установки індукційного та діелектричного нагрівання, радары, вимірювальні та контролюючі прилади, дослідницькі установки, високочастотні прилади та пристрої в медицині та в побуті.

Джерелом електростатичного поля та електромагнітних випромінювань у широкому діапазоні частот (над- та інфранизькочастотному, радіочастотному, інфрачервоному, видимому, ультрафіолетовому, рентгенівському) є персональні електронно-обчислювальні машини (ПЕОМ) та відео-дисплейні термінали (ВДТ) на електронно-променевих трубках, використовувані як в промисловості, наукових дослідженнях, так і в побуті. Головну небезпеку для користувачів становить електромагнітне випромінювання монітора в діапазоні 20 Гц — 30 мГц та статичний електричний заряд на екрані.

Джерелом підвищеної небезпеки у побуті з точки зору електромагнітних випромінювань є також мікрохвильові печі, телевізори будь-яких модифікацій, радіотелефони. У теперішній час визнаються джерелами ризику у зв'язку з останніми даними про дію магнітних полів промислової частоти: електроплити з електропроводкою, електричні грилі, праски, холодильники (коли працює компресор).

**Електромагнітне поле Землі — необхідна умова життя людини.** Життя на нашій планеті виникло у тісній взаємодії з електричними випромінюваннями, і, перед усім, з

електромагнітним полем землі. Людина пристосувалася до земного поля в процесі свого розвитку, і воно стало не тільки звичною, але й необхідною умовою нашого життя. Як збільшення так і зменшення інтенсивності природних полів здатне відбитися на біологічних процесах.

Електромагнітна сфера нашої планети визначається в основному електричним ( $E = 120\text{—}150$  В/м) та магнітним ( $H = 24\text{—}40$  А/м) полем Землі, атмосферною електрикою, радіовипромінюванням Сонця та галактик, а також полями штучних супутників (потужних радіостанцій, промислового електротермічного обладнання, дослідницьких установок, вимірних та контролюючих пристроїв тощо). Як вже зазначалося діапазон природних та штучних полів дуже широкий: починаючи від постійних магнітних та електростатичних полів і закінчуючи рентгенівським та гамма-випромінюванням частотою  $3 \cdot 10^{21}$  Гц та вище. Кожний з діапазонів електромагнітних випромінювань по-різному впливає на розвиток живого організму. ЕМВ, особливо світлового діапазону (з довжиною хвиль  $0,39\text{—}0,76$  мкм), не тільки відіграють величезну роль як потужний фізіологічний фактор біоритміки живого, але й здійснюють потужний інформаційний вплив на організм через органи зору або інші світлові рецептори. Безумовно, що ЕМВ інших діапазонів також мають свій вплив на живі організми. На відміну від світлового, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювань ще не знайдено відповідних рецепторів для ЕМВ інших діапазонів. Є деякі факти, що говорять про безпосереднє сприйняття клітинами мозку ЕМВ радіочастотного діапазону, про вплив низькочастотних ЕМВ на функції головного мозку, які вимагають додаткового підтвердження.

Далі будуть розглянуті найбільш поширені електромагнітні поля (ЕМП), використовувані в техніці та науці, а саме ЕМП промислової частоти, статичні поля та ЕМП радіочастот.

З приводу природних полів зазначимо, що посилення електричного поля перед грозою та під час грози характеризується дискомфортом самопочуття людини, а магнітні бурі, пов'язані з сонячною активністю, не тільки впливають на ослаблених та старих людей, але також є однією з причин багатьох автодорожніх та інших аварій. Ослаблені природні поля стали предметом вивчення перед усім у зв'язку з розвитком космонавтики. Досліди над тваринами, зокрема над мишами, показують, що значне зменшення геомагнітного поля через певний відрізок часу (у другому поколінні) здатне викликати суттєву зміну процесів життєдіяльності: порушується діяльність печінки, нирок, статевих залоз, але саме головне — з'являються пухлини у різних органах. Існує гіпотеза вченого з США Мак-Ліна, що пов'язує збільшення ракових захворювань людини зі зменшенням магнітного поля нашої планети, яке за його розрахунками за останні 2,5 тисячі років зменшилося на 66 %. Екранування від електричних полів також не проходить без наслідків для експериментальних тварин. Було відзначено збільшення смертності піддослідних тварин після 2—3 неділь перебування у екранованому від зовнішніх електричних полів просторі, перед усім за рахунок порушень регуляції обміну речовин в організмі.

Із багатьох фактів та припущень про вплив ЕМВ на людину та навколишній світ виділимо гіпотезу, яка пояснює глобальний характер акселерації (збільшення середнього зросту та прискорення статевого дозрівання у людей) у різних географічних зонах, у всіх національних та соціальних групах населення зростанням радіофону. Згідно гіпотезі, акселерація є своєрідною відповіддю організму на тривале пригнічення. Організм за допомогою гіперкомпенсації оцінює зміну діючих факторів середовища і з випередженням пристосовується до такої тенденції за рахунок прискорення

фізіологічних процесів. До того ж пристосованість у вигляді гіперкомпенсації при тривалих змінах середовища, наприклад, за час життя людини, може передаватися наступним поколінням.

Цікава також гіпотеза, згідно якої швидке зростання радіофону (в післявоєнні роки тільки випромінювані потужності локаторів виростають за кожне десятиріччя в 10—30 разів) може послабити залежність наших біоритмів від загального добового ритму. Як вважають вчені, біоритми нашого організму синхронізуються природним ЕМП планети. Але чим вищий рівень перешкоди природному фону (в даному разі штучного радіофону), тим гірше працює синхронізація.

Ще раз відзначимо, що якщо природне поле Землі необхідне для життя людини, а слабкі штучні ЕМП неоднозначно діють на живий світ, нерідко справляючи сприятливу дію, то можна стверджувати справедливо про шкідливий вплив сильних полів на тварин і людину. Цей вплив полягає насамперед у тому, що у людей порушується функціональний стан центральної нервової та серцево-судинної системи.

**Вплив електромагнітного поля на організм людини.** Механізм впливу ЕМП на біологічні об'єкти дуже складний і недостатньо вивчений. Але в спрощеному вигляді цей вплив можна уявити наступним чином: у електричному полі молекули, з яких складається тіло людини, поляризуються і орієнтуються за напрямком поля: у рідинах, зокрема в крові, під дією електрики з'являються іони і, як наслідок, струми. Однак іонні струми будуть протікати у тканині тільки по міжклітинній рідині, тому що за постійного поля мембрани клітини, будучи добрими ізоляторами, надійно ізолюють внутрішньоклітинне середовище.

При підвищенні частоти зовнішнього ЕМП електричні властивості живих тканин змінюються: вони втрачають властивості діелектриків і набувають властивостей провідників, до того ж ця зміна відбувається нерівномірно. З подальшим зростанням частоти індукція іонних струмів поступово заміщується поляризацією молекул.

Змінне поле викликає нагрівання тканин людини як за рахунок змінної поляризації діелектрика, так і за рахунок появи струмів провідності. Тепловий ефект є наслідком поглинання енергії електромагнітного поля. На високих частотах, перед усім в діапазоні радіочастот ( $10^{15}$ – $10^{11}$  Гц), енергія поля, що проникає в організм багатократно відбивається, заломлюється у багат шаровій структурі тіла з різними товщинами шарів тканин. Внаслідок цього поглинається енергія ЕМП неоднаково, звідси вплив на різні тканини відбувається також неоднаково. Крім того, підшкірний жировий шар може грати роль четверть-хвильового трансформатора, що узгоджує хвильові опори шкіри та м'язової тканини, яка межує з жировим шаром. При цьому доля енергії, що проходить через тіло, може значно збільшитися. Цей ефект залежить від товщини жирового шару, товщини шкіри та частоти поля.

При опроміненні дециметровими хвилями ( $10^8$  —  $10^9$  Гц) підшкірний шар жиру товщиною 9 мм може бути таким узгоджувальним трансформатором. Цим можна пояснити, що випромінювання з довжинами хвиль 20—30 см поглинається в широкому діапазоні від 20—100 % у шкірі, жирі та м'язах. За довжини хвиль 30—100 см воно поглинається у кількості 30—40 %, але в основному внутрішніми органами, і це визначає його найбільшу шкідливість як термогенного фактора. Випромінювання з довжинами хвиль коротше 10 см в основному поглинається шаром шкіри. Для людини, з точки зору теплового ефекту, що викликається випромінюванням, це найменш небезпечний випадок, тому що, з одного боку, надлишкове тепло зараз же відчувається — підвищується температура шкіри, а з другого боку — це тепло розсіюється і відводиться від шкіри як у зовнішнє середовище, так і в тканини, розташовані глибше.

Теплова енергія, що виникла у тканинах людини, збільшує загальне тепловиділення тіла. Якщо механізм терморегуляції тіла не здатний розсіювати надлишкове тепло, може статися підвищення температури тіла. Це відбувається, починаючи з інтенсивності поля, що дорівнює  $100 \text{ Вт/м}^2$ , яка називається тепловим порогом. Органи та тканини людини, які мають слабо виражену терморегуляцію, більш чутливі до опромінення (мозок, очі, нирки, кишечник, сім'яники). Перегрівання тканин та органів призводить до їх захворювання. Підвищення температури тіла на  $1^\circ\text{C}$  та вище недопустиме через можливі

Дослідження показали, що вплив ЕМП високих частот, і особливо надвисоких частот, на живий організм виявляється і за інтенсивності нижче теплових порогів, тобто має місце їх нетепловий вплив, який, як вважають, є результатом ряду мікропроцесів, що відбуваються під дією полів.

Негативний вплив ЕМП викликає оборотні, а також необоротні зміни в організмі: гальмування рефлексів, зниження кров'яного тиску (гіпотонія), уповільнення скорочень серця (брадикардія), зміну складу крові у бік збільшення числа лейкоцитів та зменшення еритроцитів, помутніння кришталика ока (катаракта).

Суб'єктивні критерії негативного впливу ЕМП — головні болі, підвищена втомлюваність, дратівливість, порушення сну, задишка, погіршення зору, підвищення температури тіла.

Разом із біологічною дією, електростатичне поле та електричне поле промислової частоти обумовлюють виникнення розрядів між людиною та іншим об'єктом, відмінний від людини потенціал. Зареєстровані при цьому струми не являють собою небезпеки, але можуть викликати неприємні відчуття. У будь-якому випадку такому впливу можна запобігти шляхом простого заземлення об'єктів, що мають великі габарити (автобус, дах дерев'яного будинку тощо), і видовжених об'єктів (трубопровід, дротяна загорожа тощо), тому що на них через велику ємність накопичується достатній заряд і суттєвий потенціал, які можуть обумовити помітний розрядний струм.

Великий практичний інтерес становлять дані досліджень впливу магнітного поля промислової частоти. Вчені Швеції виявили у дітей до 15 років, які мешкають навколо ЛЕП, що вони хворіють на лейкемію у 2,7 рази частіше, ніж у контрольній групі, віддаленій від ЛЕП.

Існує велика кількість гіпотез, які пояснюють біологічну дію магнітних полів. Загалом, вони зводяться до індукції струмів в живих тканинах та до безпосереднього впливу полів на клітинному рівні.

Відносно нешкідливим для людини на протязі тривалого часу пропонується визнати МП, що мають порядок геомагнітного поля та його аномалій, тобто напруженості МП не більше  $0,15\text{—}0,2 \text{ кА/м}$ . За більш високих напруженостей МП починає проявлятися реакція на рівні організму. Характерною рисою цих реакцій є тривала затримка відносно початку дії МП, а також яскраво виражений кумулятивний ефект за тривалої дії МП. Зокрема, експерименти, проведені на людях, показали, що людина починає відчувати МП, якщо воно діє не менше  $3\text{—}7 \text{ с}$ . Це відчуття зберігається деякий час (близько  $10 \text{ с}$ ) і після закінчення дії МП.

Цікаві дані отримані проф. А.В. Сосуновим: постійне магнітне поле напруженістю  $48 \text{ кА/м}$  стимулювало ріст ракових клітин у тканинних культурах, а при напруженості  $160 \text{ кА/м}$  більшість ракових клітин гинула. Надаючи додаткові відомості про вплив магнітних полів приведемо результати експериментів Інституту гігієни праці ім. Ф.Ф. Ерісмана. Співробітники цього інституту встановили, що вода, оброблена магнітним полем у  $160 \text{ кА/м}$  не викликає серйозних змін в організмі піддослідних пацієнтів. Коли ж

пацюки починали пити воду, оброблену більш сильним магнітним полем (400 кА/м), то у них виникали патологічні зміни у нервовій та кровоносній системах, а також у самій крові. Все це вказує на неоднозначність реакцій організму на дію ЕМП, перед усім магнітної складової, і вимагає великої обережності при нормуванні ЕМП, а також ретельності і серйозного обґрунтування при гігієнічному нормуванні полів.

**Принципи нормування електромагнітних полів.** У теперішній час у якості визначального параметра для оцінки впливу поля як електричного, так і магнітного частотою до 10–30 кГц прийнято застосовувати густину електричного струму індукції в організмі. Вважається, що густина струму провідності  $j < 0,1$  мкА/см<sup>2</sup> не впливає на роботу мозку, тому що імпульсні біоструми, що протікають у мозку, мають велике значення. В таблиці 3.3 показані можливі ефекти у залежності від густини струму, наведеного змінним полем в тілі людини.

Т а б л и ц я 3.3. Дія електромагнітного поля на людину

Густина індукційного струму $j$ , мкА/см <sup>2</sup>	Ефекти, що спостерігаються
0,1	Немає
1,0	Мерехтіння світлових кругів в очах, аналогічне тому, що виникає при надавлюванні на $\hat{i}\hat{-}\hat{f}\hat{a}\hat{y}\hat{a}\hat{e}\hat{o}\hat{e}\hat{i}$
10–50	Гострі невралгічні симптоми, подібні до тих, що викликаються електричним струмом, тобто проявляється стимуляція сенсорних рецепторів та м'язових клітин
більше 100	Збільшується імовірність фібриляції шлуночка серця, зупинка серцевої діяльності, тривалий спазм дихальних м'язів, серйозні опіки

Оцінку небезпеки для здоров'я людини виводять із зв'язку між значення густини струму, наведеного в тканинах, і характеристиками ЕМП. Густина струму індукції, створюваного магнітним полем, визначається зам формулою:

$$j = \pi R \gamma f B, \text{ де,}$$

$B$  — магнітна індукція, Тл,  $B = \mu H$ ;  $f$  — частота, Гц;  $\gamma$  — питома провідність См/м.

Для питомої провідності мозку приймають  $\gamma = 0,2$  См/м, для серцевого м'яза  $\gamma = 0,25$  См/м. Якщо прийняти радіус  $R = 7,5$  см для голови і 6 см для серця, добуток  $\gamma R$  виходить однаковим в обох випадках. При такому підході безпечна для здоров'я магнітна індукція дорівнює близько 0,4 мТл при 50 або 60 Гц. Таке значення еквівалентне напруженості магнітного поля  $H \leq 300$  А/м.

Густина струму, індукованого в тілі людини електричним полем, оцінюють за формулою:  $j = k F E$ , з різними коефіцієнтами  $k$  для області мозку та серця. Для орієнтовних розрахунків, оскільки важливо оцінити порядок густини струму  $j$ , приймається  $k = 3 \cdot 10^{-3}$  См/Гц м.

В області частот від 30 до 100 кГц механізм дії полів через збудження нервових та м'язових клітин поступається місцем тепловому впливу і в якості визначального фактора приймається питома потужність поглинання. При цьому вважається у відповідності з різними міжнародними іїдіііє, що для енергії, поглинутої тілом людини, достатньо безпечною межею є 0,4 Вт/кг (у стандарті ФРГ – VDE 0848, частина 2). В діапазоні

частот від 100 мГц до 3 ГГц слід враховувати резонансні ефекти в тілі та в області голови. На це при нормуванні повинна робитися поправка.

**Нормування ЕМП радіочастот.** Для попередження захворювань, пов'язаних із впливом радіочастот, встановлені гранично допустимі значення напруженості та густини потоку енергії (ГПЕ) на робочому місці персоналу та для населення.

Згідно ГОСТ 12.1.006.-84 напруженість ЕМП в діапазоні частот 60 кГц — 300 мГц на робочих місцях персоналу на протязі робочого дня не повинна перевищувати встановлених *гранично допустимих рівнів* (ГДР):

за електричною складовою, В/м:

50 — для частот від 60 кГц до 3 МГц;

20 — для частот більше 3 МГц до 30 МГц;

10 — для частот більше 30 МГц до 50 МГц;

5 — для частот більше 50 МГц і до 300 МГц;

за магнітною складовою, А/м:

5 — для частот від 60 кГц до 1,5 МГц;

0,3 — для частот від 30 МГц до 50 МГц.

У теперішній час у відповідності із стандартом СЕВ 5801-86 визначають ГДР у діапазоні частот 60 кГц—300 МГц виходячи з енергетичного навантаження (ЕН), яке являє собою добуток квадрата напруженості поля під час його дії. Енергетичне навантаження, створюване електричним полем, дорівнює  $ЕН_E = E^{2T}$ , магнітним —  $ЕН_H = H^{2T}$ . Звідси значення ГДР Е та Н знаходять з наступних виразів:

$$E_{ГДР} = \sqrt{\frac{ЕН_E}{T}}, \quad H_{ГДР} = \sqrt{\frac{ЕН_H}{T}}$$

Значення ГДР енергетичного навантаження на протязі робочого дня, а також ГДР складових поля для короткого проміжку часу, визначені за вказаними формулами, наведені в таблиці 3.4.

Т а б л и ц я 3.4. Значення ГДР енергетичного навантаження на людину

Параметр	Граничні значення ГДР в діапазонах частот, МГц		
	від 0,06 до 3	більше 3 до 30	більше 30 до 300
$ЕН_{ЕГДК} (В/м)^2 \text{ год}$	20000	7000	800
$ЕН_{HГДК} (А/м)^2 \text{ год}$	200	—	—
$E_{ГДР} (В/м)$	500	300	80
$H_{ГДР} (А/м)$	50	—	—

Одночасна дія електричних та магнітних полів в діапазоні частот 0,06–3 МГц вважається допустимою за умови:

$$ЕН_E / EN_{ЕГДР} + EN_H / EN_{HГДР} \leq 1$$

Гранично допустиму густину потоку енергії в діапазоні частот 300 МГц–300 ГГц на робочих місцях персоналу встановлюють виходячи з допустимого значення енергетичного навантаження  $W$  на організм і часу перебування в зоні опромінення, однак у всіх випадках вона не повинна перевищувати 10 Вт/м, а при наявності рентгенівського випромінювання або високої температури повітря в робочих приміщеннях (вище 28 °С — 1 В/м<sup>2</sup>).

Гранично допустима густина потоку енергії (в принципі, це густина потужності, судячи з розмірності  $\text{Вт/м}^2$ , але в технічній літературі і нормативній документації, на жаль, прийнятий термін «густина потоку енергії») визначається за формулою:

$$\text{ГПЕ} = W/T,$$

Де  $W$  — нормоване значення допустимого енергетичного навантаження на організм, що дорівнює  $2 \text{ Вт/м}^2$  для всіх випадків опромінення, виключаючи опромінення від антен сканування та антен, що обертаються, і  $20 \text{ Вт/м}^2$  для опромінення від антен сканування та антен, що обертаються;  $T$  — час перебування в зоні опромінення, год.

Існують санітарні норми гранично допустимих значень електричного поля і густини потоку енергії на території житлової забудови:

ЕВ/м	50 Гц	30–300 кГц	0,3–3 МГц	3–30 МГц	30–300 МГц	Для діапазону 0,3–300 ГГц
	500	20	10	4	2	0,05 $\text{Вт/м}^2$

Гранично допустима ГПЕ при експлуатації мікрохвильових печей не повинна перевищувати  $0,1 \text{ Вт/м}^2$  при трикратному опроміненні по 40 хвилин кожного дня і загальній тривалості опромінення не більше 2 год. за добу.

**Нормування ЕМП промислової частоти і статичних полів.** Для електростатичних полів згідно ГОСТ 12.1.045–84 встановлюється допустима напруженість поля на робочих місцях за формулою  $E = 60 / \sqrt{t}$  кВ/м, де  $t = 1–9$  год.

У відповідності з цим стандартом граничне значення напруженості поля  $E_{\text{ГДР}}$ , за якого дозволяється працювати на протязі години, дорівнює 60 кВ/м. На протязі робочої зміни дозволяється працювати без спеціальних заходів захисту при напруженості 20 кВ/м.

Для визначення допустимого часу в електростатичному полі без захисних засобів у залежності від фактичної напруженості  $E_{\text{ФАКТ}}$  потрібно користуватися формулою:  $t_{\text{ДОП}} = (E_{\text{ГДР}} / E_{\text{ФАКТ}})^2$ .

Для електричного поля промислової частоти у відповідності з ГОСТ 12.1.002–84 гранично допустимий рівень напруженості електричного поля, перебування в якому не дозволяється без застосування спеціальних засобів захисту, дорівнює 25 кВ/м. При напруженості поля від 20 кВ/м до 25 кВ/м час перебування персоналу в полі не повинен перевищувати 10 хв.

Згідно стандарту дозволяється перебування персоналу без спеціальних засобів захисту на протязі всього робочого дня в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м. В інтервалі більше 5 кВ/м і до 20 кВ/м включно допустимий час перебування  $T$  (год.) визначається за формулою  $T = 50/E - 2$ , де  $E$  — напруженість діючого поля у контрольованій зоні, кВ/м.

При перебуванні персоналу на протязі робочого дня в зонах з різною напруженістю приведений час перебування обчислюють за формулою:

$$T_{\text{ПЕР}} = 8 (t_{E1} / T_{E1} + t_{E2} / T_{E2} + \dots + t_{En} / T_{En}), \text{ де}$$

$t_{E1}, t_{E2}, t_{En}$  та  $T_{E1}, T_{E2}, T_{En}$  — фактичний та допустимий час перебування в зоні з напруженістю  $E_1, E_2, \dots, E_n$ .

За необхідності визначення гранично допустимої напруженості електричного поля при заданому часі перебування в ньому, рівень напруженості в кВ/м обчислюється за формулою:  $E = 50 / (T + 2)$ , де  $T$  — час перебування в електричному полі, год.

Усередині житлових будівель приймається  $E_{ГДР} = 0,5$  кВ/м, на території житлової забудови — 1 кВ/м.

Для постійних магнітних полів у відповідності з СН 1742-77 встановлена напруженість поля  $H_{ГДР} = 8$  кА/м на протязі робочої зміни при роботі з магнітними установками та магнітними матеріалами.

Для магнітних полів промислової частоти у відповідності з СН 3206-85 у залежності від характеру дії (безперервного або переривчастого) встановлений зв'язок між загальним часом дії на протязі робочого дня (Т) і гранично допустимою напруженістю поля  $H_{ГДР}$ .

При цьому характер дії поділено на групи:

1. безперервна і переривчаста дія з тривалістю імпульсу  $t_1 > 0,02$  с, з тривалістю паузи  $t_{п} < 2$  с (і при  $t_1 > 60$  с);

2. переривчаста дія  $60$  с  $> t_1 > 1$  с,  $t_{п} > 2$  с;

3. переривчаста дія  $0,002$  с  $< t_1 < 1$  с;  $t_{п} > 2$  с.

Рекомендації Міжнародного комітету з питання неіонізуючих випромінювань від 1990 р., зокрема, з питань ГДР електричного та магнітного полів промислової частоти для професіоналів (персоналу) та населення приведені в табл. 3.5.

Т а б л и ц я 3.5. ГДР ЕМП для різних груп населення.

Час перебування в полі	Е (кВ/м)	Н (мТл)
Професіонали:		
на протязі робочого дня	10	0,5
короткий час	30	5 (< 2 год. на добу)
для частин тіла	–	25
Населення:		
аж до 24 годин на добу	5	0,1 (80 А/м)
кілька годин на добу	10	1

Для порівняння наведемо дані найбільш повних у всьому частотному діапазоні від 0 до 300 ГГц і авторитетних німецьких стандартів стосовно ЕМП промислової частоти та статичних полів.

Для електростатичного поля на протязі робочого дня за німецькими нормами  $E = 40$  кВ/м (у нас 20 кВ/м), для постійного магнітного поля –  $H = 16$  кА/м (у нас 8 кА/м).

Для напруженості електричного поля промислової частоти на протязі робочого дня  $E = 20$  кВ/м (у нас 5 кВ/м), для напруженості магнітного поля промислової частоти  $H = 4$  кА/м (у нас 1,4 кА/м).

Порівняння показує, що наші норми для персоналу по постійним полям жорсткіші в 2 рази, а по ЕМП промислової частоти – в 3–4 рази. Це свідчить про те, що у наші діючі норми закладений певний запас.

**Норми і рекомендації для захисту від ЕМП при експлуатації комп'ютерів.** У теперішній час рядом країн розроблено документи, які регламентують правила користування дисплеями. Найбільш відомі шведські документи MPR II 1990:8 (Шведського національного комітету з захисту від випромінювань) та більш жорсткий стандарт TCO 95 (Шведської конференції професійних союзів). Ці норми застосовуються у всіх країнах Скандинавії і рекомендовані до розповсюдження в країнах ЕС.

Вимоги норм МРР до рівня електромагнітних випромінювань у 20 разів жорсткіші, ніж вимоги ГОСТ, що обмежують рівень випромінювання радіочастот, вимоги ТСО 95 жорсткіші у 50 разів.

Нижче приводяться для порівняння з ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот» дані шведського стандарту МРР П1990:8. В діапазоні частот 5 Гц–2 кГц напруженість електричного поля  $E$  не повинна перевищувати 25 В/м, а магнітна індукція – 250 нТл. Це рівнозначно напруженості магнітного поля  $H = 0,2$  А/м. В діапазоні частот 2–400 кГц –  $E \leq 2,2$  В/м, а  $H \leq 0,02$  А/м. Такі самі значення прийняті тепер і в Росії згідно СанПиН 2.2.2.542-96 для відео-дисплейних терміналів на відстані 50 см від них. Цими нормами рекомендується користуватися і в Україні.

Для захисту від електромагнітних випромінювань при використанні комп'ютерів ранніх поколінь необхідно встановлювати захисний екран. Слід відзначити, що при індивідуальному використанні ПЕОМ або однорядовому їх розташуванні необхідно також встановити захисне покриття на передню панель та бічні стінки монітора, тому що електромагнітне випромінювання від комп'ютера поширюється у всіх напрямках, а при розташуванні робочого місця на відстані не більше 1,5 м від задньої стінки – потрібне захисне покриття і на задню стінку. Дослідні дані з визначення напруженості ЕМП для ряду закордонних комп'ютерів без спеціальних захисних пристроїв на відстані 0,1 м від монітора без екрана на частоті 15 кГц виявилися таким, що дорівнюють 5,5–30 В/м, з екраном 3–12 В/м, на відстані 0,3 без екрана 4–25 В/м, з екраном 3–7 В/м. Виміри проводилися за допомогою приладу NFM-1.

Для тих самих комп'ютерів напруженість електростатичного поля, виміряна приладом «ИНЭП-2» на відстані 0,3 м від монітора без екрана дорівнювала 7–9,4 кВ/м, з екраном 4–8,1 кВ/м, на відстані 0,6 м без екрана 1,8–3,1 кВ/м, з екраном 1,3–2,9 кВ/м.

У всіх випадках для захисту від випромінювань очі повинні бути розташовані на відстані витягнутої руки до монітора (не ближче 70 см).

Більш пізні монітори з маркуванням Low Radiation практично задовольняють вимоги шведських стандартів. Комп'ютери з рідкокристалічним екраном не наводять статичної електрики і не мають джерел відносно потужного електромагнітного випромінювання. При використанні блока живлення виникає деяке перевищення рівня на промисловій частоті, тому рекомендується працювати від акумулятора.

Найбільш ефективна система захисту від випромінювань реалізується через створення додаткового металічного внутрішнього корпусу, що замикається на вбудований закритий екран. За такої конструкції вдається зменшити електричне та електростатичне поле до фонових значень вже на відстані 5–7 см від корпусу, а за умови компенсації магнітного поля така конструкція забезпечує максимально можливу у наш час безпеку. Такі монітори коштують на 200–400 доларів дорожче звичайних, і тому в Україні поки що не отримали широкого розповсюдження.

**Прилади для вимірювань напруженості електростатичного та магнітного полів і густини потоку енергії ЕМП.** Для вимірювання напруженості електростатичного поля в просторі рекомендуються прилади «ИНЭП-1», «ИЭС-1», «ИНЭП-20Д», що мають діапазон вимірювань 0,2–2500 кВ/м, для ЕСП на поверхні «ИЭС-П» з межею вимірюваних значень 4–500 кВ/м.

Для вимірювання напруженості постійного магнітного поля використовуються прилади Ш1-8 та Ф4355, що мають діапазон вимірювань 0–1600 кА/м.

Для вимірювання напруженості магнітного поля промислової частоти випускається прилад Г-79 з діапазоном вимірювань 0–15 кА/м в діапазоні 0,02–20 кГц.

Для вимірювань напруженості електричного поля промислової частоти стандарт рекомендує прилад NFM-1, що виробляється в Германії. Даний прилад годиться також для вимірювань магнітного поля, тому що його робота заснована на законі електромагнітної індукції. Для вимірювання  $E$  використовуються антени дипольної системи, а для вимірювання  $H$  — рамочні антени. Прилад працює в широкому діапазоні частот. На 50 Гц діапазон вимірювань  $E$  — (2–40) кВ/м, в частотному діапазоні 60 кГц—300 МГц електричне поле вимірюється в межах 4–1500 В/м. Магнітне поле вимірюється в діапазоні 0,1–1,5 МГц для значень 0,5–300 А/м. Похибка всіх вимірювань доходить до 25 %.

З вітчизняних приладів можна вказати «ИНЭП-1», що годиться для вимірювань  $E = 5—100$  В/м в діапазоні 50 Гц—30 МГц і для вимірювань  $H = 0,5—300$  А/м в діапазоні 100 кГц—1,5 МГц. Похибка вимірювань також висока: до 20 %. Випускається також ПЗ-15, ПЗ-16, ПЗ-17 для вимірювання  $E = 1—3000$  В/м в діапазоні 0,01—300 МГц.

Для вимірювань ЕМП надвисоких частот, тобто починаючи з 300 МГц і вище, годяться ПЗ-9, ПЗ-18, ПЗ-19, ПЗ-20. Діапазон вимірювань  $1 \text{ мкВт/см}^2 - 100 \text{ мВт/см}^2$  — з допустимою похибкою до 30–40 %.

**Методи та засоби захисту від впливу ЕМ.** При невідповідності вимогам норм у залежності від робочого діапазону частот, характеру виконуваних робіт, рівня опромінення і необхідної ефективності захисту застосовують наступні способи та засоби захисту або їх комбінації: захист часом та відстанню; зменшення параметрів випромінювання безпосередньо в самому джерелі випромінювання; екранування джерела випромінювання; екранування робочого місця; раціональне розташування установок в робочому приміщенні; встановлення раціональних режимів експлуатації установок та роботи обслуговуючого персоналу; застосування засобів попереджувальної сигналізації (світлова, звукова тощо); виділення зон випромінювання; застосування засобів індивідуального захисту.

*Захист часом* передбачає обмеження часу перебування людини в робочій зоні, якщо інтенсивність опромінення перевищує норми, встановлені за умови опромінення на протязі зміни, і застосовується, коли немає можливості зменшити інтенсивність опромінення до допустимих значень і тільки для випромінювань в діапазоні 300 МГц — 300 ГГц, а також для електростатичного та електричного поля частотою 50 Гц. Допустимий час перебування залежить від інтенсивності опромінення.

*Захист відстанню* застосовується коли неможливо послабити інтенсивність опромінення іншими заходами, у тому числі й скороченням часу перебування людини в небезпечній зоні. В цьому випадку збільшують відстань між джерелом випромінювання і обслуговуючим персоналом. Цей вид захисту ґрунтується на швидкому зменшенні інтенсивності поля з відстанню. Це добре видно з формул. У ближній зоні, довжина якої  $R \leq \lambda/2\pi$ , де  $\lambda$  — довжина хвилі випромінювання,  $\lambda = 3 \cdot 10^8 / (f \sqrt{\epsilon_r} \cdot \sqrt{\mu_r})$ , напруженості електричної та магнітної складових поля зменшуються у залежності від відстані наступним чином:

$$E = \frac{I \cdot l}{2R^3} \cdot 1/\pi\epsilon\omega; \quad H = \frac{I \cdot l}{4R^2} \cdot 1/\pi,$$

де  $I$  — струм у провіднику (антені), А;  $l$  — довжина провідника (антені), м;  $\epsilon$  — діелектрична проникність середовища, Ф/м;  $\omega$  — кутова частота поля,  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  — частота поля, Гц;  $R$  — відстань від точки спостереження до джерела випромінювання, м.

Для одиночного прямолінійного провідника зі струмом напруженість магнітного поля  $H$  легко визначити за законом повного струму  $H = I/2\pi R$ , де  $I$  — струм,  $R$  —

відстань від проводу до розгляданої точки. Якщо вважати, що електричний струм до праски прямолінійний, потужність праски дорівнює 1 кВт, тоді  $I = P/U = 1000/220 = 4,5$  А, а на відстані 0,1 м від шнура  $H = 4,5/2\pi \cdot 0,1 = 7$  А/м. Санітарних норм для населення немає, але у світлі нових даних це значення може викликати занепокоєність. Правда, цей процес в даних умовах короткочасний.

Для дальньої зони ( $R \gg \lambda/2\pi$ ) ефективність поля оцінюється частіше всього за густиною потоку потужності  $S$ :

$$S = \frac{P \cdot G}{4R^2} \cdot 1/\pi,$$

де  $P$  — потужність випромінювання, Вт,  $G$  — коефіцієнт підсилення антени.

Зменшення випромінювання безпосередньо у самому джерелі досягається за рахунок застосування узгоджених навантажень та вбирачів потужності. Вбирачі потужності, що ослаблюють інтенсивність випромінювання до 60 дБ ( $10^6$ ) разів) та більше, являють собою хвилеводні лінії частково заповнені вбираючими матеріалами, у яких енергія випромінювання перетворюється на теплову. Заповнювачами слугують: чистий графіт або графіт у суміші з цементом, піском та гумою; пластмаси; порошок залізо в бакеліті, кераміці тощо; вода і ряд інших матеріалів.

Рівень потужності можна знизити також за допомогою атенюаторів (від французького *attenuer* — зменшувати, ослаблювати) плавно-змінних та фіксованих. Атенюатори, які випускаються промисловістю дозволяють ослабити у межах від 0 до 120 дБ випромінювання потужністю 0,1 — 100 Вт і довжиною хвилі 0,4—300 см.

Найбільш ефективним і часто застосованим методом захисту від електромагнітних випромінювань є *екранування* самого джерела або робочого місця. Форми та розміри екранів різноманітні і відповідають умовам застосування.

Якість екранування характеризується ступенем ослаблення ЕМП, який називається ефективністю екранування. Він виражений відношенням значень величин  $E$ ,  $H$ ,  $S$  у даній точці за відсутності екрана до значень  $E_E$ ,  $H_E$ ,  $S_E$  в тій самій точці за наявності екрана. На практиці звичайно ослаблення випромінювання оцінюють у децибелах і визначають за однією з наступних формул:

$$L = 20 \lg \frac{E}{E_E}; L = 20 \lg \frac{H}{H_E}; L = 20 \lg \frac{S}{S_E}.$$

Екрани діляться на такі види: екрани відбивання та екрани вбирання. Захисна дія екранів відбивання обумовлена тим, що діюче поле наводить у товщі екрану вихрові струми, магнітне поле яких напрямлене у бік, протилежний первинному полю. Результуюче поле швидко зменшується в екрані, проникаючи в нього на незначну величину. Глибину проникання  $\delta$  для будь-якого заздалегідь заданого ослаблення поля  $L$  можна вирахувати за формулою:

$$\delta = \ln L / \sqrt{\omega \cdot \mu / \gamma}$$

де  $\mu$  та  $\omega$  — відповідно магнітна проникність (Г/м) та електрична провідність (См/м) матеріалу.

На відстані, що дорівнює довжині хвилі, ЕМП у провідному середовищі майже повністю затухає, тому для ефективного екранування товщина стінки екрана повинна бути такою, що приблизно дорівнює довжині хвилі в металі. Глибина проникнення ЕМП високих та надвисоких частот дуже мала, наприклад, для міді вона складає десяті та соті долі міліметра, тому товщину екрана вибирають за конструктивними міркуваннями.

У ряді випадків для екранування застосовують металічні сітки, які дозволяють робити огляд та спостереження екранованих установок, вентиляцію та освітлення екранованого простору. Сітчасті екрани мають гірші властивості екранування порівняно із суцільними. Їх застосовують у тих випадках, коли потрібно ослабити густину потоку потужності на 20—30 дБ (в 100—1000 разів).

Всі екрани повинні заземлитися. Шви між окремими листами екрану або сітки повинні забезпечувати надійний електричний контакт між з'єднаними елементами.

Засоби захисту (екрани, кожухи тощо) з радіовбираючих матеріалів виконують у вигляді тонких резинових килимків, гнучких та жорстких листів поролону або волокнистої деревини, просоченої відповідним складом, феромагнітних пластин. Коефіцієнт відбивання вказаних матеріалів не перевищує 1—3 %. Їх склеюють або приєднують до основи конструкції екрана спеціальними скріпками.

Електромагнітна енергія, випромінювана окремими елементами електротермічних установок та радіотехнічної апаратури, при відсутності екранів (настроювання, регулювання, випробування) поширюється в приміщенні, відбивається від стін та перекриттів, частково проходить крізь них і трохи розсіюється в них. В результаті утворення стоячих хвиль в приміщенні можуть створюватися зони з підвищеною густиною ЕМВ. Тому роботи рекомендується проводити в кутових приміщеннях першого та останнього поверхів будинків.

Для захисту персоналу від опроміненнь потужними джерелами ЕМВ поза приміщеннями необхідно раціонально планувати територію радіоцентру, виносити служби за межі антенного поля, встановлювати безпечні маршрути руху людей, екранувати окремі будівлі та ділянки території.

Зони опромінення виділяються на основі інструментальних вимірювань інтенсивності опромінення для кожного конкретного випадку розташування апаратури. Установки огорожують або границю зони позначають яскравою фарбою на підлозі приміщення, передбачаються сигнальні кольори та знаки безпеки відповідно до ГОСТ12.3.026-76.

Для захисту від електричних полів повітряних ліній електропередач необхідно вибрати оптимальні геометричні параметри лінії (збільшення висоти підвісу фазних проводів ЛЕП, зменшення відстані між ними тощо). Це зменшить напруженість поля поблизу ЛЕП в 1,6—1,8 рази.

Для відкритих розподільних пристроїв рекомендуються пристрої екранування, які в залежності від призначення поділяються на стаціонарні та тимчасові. Роблять їх у вигляді козирків, навісів і перегородок із металічної сітки на рамі з кутикової сталі. Пристрої екранування необхідно заземлювати. Застосуванням заземлених тросів, підвішених на висоті 2,5 м над землею під фазами з'єднувальних шин ОРУ 750 кВ вдалося зменшити потенціал у робочій зоні на висоті 1,8 м, тобто на рівні людського зросту, з 30 до 13 кВ.

За значенням потенціалу  $\varphi_h$  або напруженості поля  $E_h$  у зоні перебування людини можна оцінити значення емкісного струму, зумовленого електричним полем. Цей струм на протязі робочої зміни не повинен перевищувати 50—60 мкА:

$$I_h = 10 \varphi_h \text{ (мкА)}; I_h = 12 E_h \text{ (мкА)},$$

де  $\varphi_h$  у кВ,  $E_h$  у кВ/м.

Якщо струм більший вказаних значень, то при тривалій роботі людини в цих умовах потрібно застосовувати заходи, які зменшують струм, а саме, використовувати костюми, що мають властивості екранування, та пристрої екранування.

Зазначимо, що пристрої екранування, призначені для захисту від електричних полів промислової частоти і визначені загалом міркуваннями механічної міцності, можуть виявитися малоефективними для захисту від дії магнітних полів, тому що при частоті  $f = 50$  Гц електромагнітна хвиля проникає у мідь на кілька сантиметрів, і навіть екран з феромагнітного матеріалу, у якого  $\mu = 1000 \mu_0$ , повинен мати товщину стінки не менше 4—5 мм.

При виконанні ряду робіт, наприклад, по налагодженню та відпрацюванню апаратури, оператору неминуче доводиться знаходитися в зоні електромагнітних випромінювань іноді великої густини потоку потужності. У цих випадках необхідно користуватися засобами індивідуального захисту, до яких відносяться комбінезони і халати з металізованої тканини, що здійснюють захист організму людини за принципом сітчастого екрану.

Для захисту очей від ЕМВ призначені захисні окуляри з металізованими скельцями типу ЗП5-80 (ГОСТ 12.4.013-75). Поверхня одношарових скельць повернута до ока, покрита безколірною прозорою плівкою двоокису олова, яка дає ослаблення електромагнітної енергії до 30 дБ при пропусканні світла не менше 75 %.

Для контролю рівнів ЕМП застосовують різні вимірювальні прилади у залежності від діапазону частот. Вимірювання проводять в зоні перебування персоналу від рівня підлоги до висоти 2 м через кожні 0,5 м. Для визначення характеру поширення та інтенсивності ЕМП у цеху або кабіні вимірювання виконується у точках перетину координатної сітки зі стороною 1 м. Всі вимірювання проводяться за максимальної потужності джерела ЕМП.

**Захист від лазерного випромінювання.** Лазерне випромінювання є електромагнітним випромінюванням, що генерується в діапазоні довжин хвиль  $\lambda = 0,2$  — 1000 мкм. Лазери широко застосовуються у мікроелектроніці, біології, метрології, медицині, геодезії, зв'язку, стереоскопії, голографії, обчислювальної техніки у дослідженнях з термоядерного синтезу та в багатьох інших областях науки і техніки.

Лазери бувають імпульсивного та безперервного випромінювання. Імпульсивне випромінювання — з тривалістю не більше 0,25 с, безперервне випромінювання — з тривалістю 0,25 с та більше.

Промисловістю випускаються твердотільні, газові та рідинні лазери.

Лазерне випромінювання характеризується монохроматичністю, високою когерентністю, надзвичайно малою енергетичною розбіжністю променя та високою енергетичною освітленістю.

*Енергетична освітленість (опроміненість)*  $\text{Вт см}^{-2}$  — це відношення потужності потоку випромінювання, що падає на малу ділянку опроміненої поверхні, до площі цієї ділянки.

*Енергетична експозиція* ( $\text{Дж см}^{-2}$ ) це відношення енергії випромінювання, що падає на розглянуту ділянку, до площі цієї ділянки, інакше: це добуток енергетичної освітленості (опроміненості) ( $\text{Вт см}^{-2}$ ) на тривалість опромінення (с).

Енергетична освітленість лазерного променя досягає  $10^{12}$  —  $10^{13}$   $\text{Вт см}^{-2}$ . Цієї енергії виявляється достатньо для плавлення і навіть випаровування самих тугоплавких речовин.

Лазерне випромінювання супроводжується потужним електромагнітним полем. Наприклад, при розповсюдженні лазерного променя енергетичною освітленістю  $3 \cdot 10^9$   $\text{Вт/см}^2$  у повітрі утворюється електричне поле напруженістю  $E = 10^8$  В/м. Тому у речовини, яка опромінюється лазерним променем, можливі прояви як чисто електричних, так і хімічних ефектів, що призводять до ослаблення зв'язків між молекулами, до їх поляризації, аж до іонізації молекул речовини, яка піддається опроміненню.

Таким чином, лазерне випромінювання, безумовно, становить небезпеку для людини. Найбільш небезпечно воно для органів зору. Практично на всіх довжинах хвиль лазерне випромінювання проникає вільно усередину ока. Промені світла, перед тим як досягнути сітківки ока, проходять через кілька середовищ заломлення: рогову оболонку, кришталік і, насамкінець склоподібне тіло. Найбільш чутлива до шкідливого впливу лазерного опромінення сітківка. В результаті фокусування на малих ділянках сітківки можуть концентруватися густини енергії в сотні та тисячі разів більші тої, яка падає на передню поверхню роговиці ока. Енергія лазерного випромінювання, поглинута всередині ока, перетворюється на теплову енергію. Нагрівання може викликати різні пошкодження і руйнування ока.

Тканини живого організму при малих та середніх інтенсивностях опромінення майже непроникні для лазерного випромінювання. Тому поверхневі (шкірні) покриви зазнають найбільшого його впливу. Ступінь цього впливу визначається, з одного боку, параметрами самого випромінювання: чим вища інтенсивність випромінювання і чим довша його хвиля, тим сильніша його дія; з другого боку, на наслідки ураження шкіри впливає ступінь її пігментації. Пігмент шкіри є наче своєрідним екраном на шляху випромінювання у розташовані під шкірою тканини та органи.

За великих інтенсивностей лазерного опромінення можливі пошкодження не тільки шкіри, але й внутрішніх тканин та органів. Ці пошкодження мають характер набряків, крововиливів, омертвіння тканин, а також згортання або розпаду крові. В таких випадках пошкодження шкіри виявляються відносно менш вираженими, ніж зміни у внутрішніх тканинах, а в жирових тканинах взагалі не відзначено яких-небудь патологічних змін.

Розглядані можливі шкідливі наслідки від дії лазерного випромінювання відносяться до випадків прямого опромінення внаслідок грубих порушень правил безпечного обслуговування лазерних установок. Розсіяно або концентровано відбите випромінювання малої інтенсивності впливає значно частіше, результатом можуть бути різні функціональні порушення в організмі — у першу чергу в нервовій і серцево-судинній системах. Ці порушення проявляються у нестійкому артеріальному тиску крові, підвищеному потінні, дратівливості тощо. Особи, що працюють в умовах впливу лазерного відбитого випромінювання підвищеної інтенсивності, скаржаться на головні болі, підвищену втомлюваність, неспокійний сон, відчуття втоми та болю в очах. Як правило, ці неприємні відчуття проходять без спеціального лікування після упорядкування режиму праці та відпочинку і застосування відповідних захисних профілактичних заходів.

Нормування лазерного випромінювання здійснюється за гранично допустимими рівнями (ГДР) опромінення. Ці рівні лазерного опромінення, які при щоденній роботі не викликають у працюючих захворювань та відхилень у стані здоров'я.

Згідно «Санітарним нормам та правилам будови та експлуатації лазерів» (М.: Мінздрав ССРСР, 1982) ГДР лазерного випромінювання визначаються енергетичною експозицією тканин, що опромінюються ( $\text{Дж см}^{-2}$ ).

Біологічні ефекти, що виникають при дії лазерного випромінювання на організм поділяються на дві групи:

а) первинні ефекти — органічні зміни, що виникають безпосередньо в живих тканинах, які піддаються опроміненню (пряме опромінення);

б) вторинні ефекти — неспецифічні зміни, що виникають в організмі у відповідь на опромінення (тривале опромінення дифузним відбитим випромінюванням).

Лазери за ступенем небезпеки генерованого ними випромінювання поділяються на *чотири класи*:

1 клас — вихідне випромінювання не становить небезпеки для очей та шкіри;

2 клас — вихідне випромінювання становить небезпеку при опроміненні очей прямим або дзеркально відбитим випромінюванням;

3 клас — вихідне випромінювання становить небезпеку при опроміненні очей прямим, дзеркально відбитим, а також дифузним відбитим випромінюванням на відстані 10 см від поверхні, що має властивість дифузного відбивання і (або) при опроміненні шкіри прямим та дзеркально відбитим випромінюванням;

4 клас — вихідне випромінювання становить небезпеку при опроміненні шкіри дифузним відбитим випромінюванням на відстані 10 см від поверхні, що має властивість дифузного відбивання променів.

Робота лазерних установок може супроводжуватися також виникненням інших небезпечних та шкідливих виробничих факторів, таких як: шум, аерозолі, газу, електромагнітне та іонізуюче випромінювання.

Клас небезпеки лазерної установки визначається на основі довжини хвилі випромінювання  $\lambda$  (мкм), розрахункової величини енергії опромінення  $E$  (Дж) та ГДР для даних умов роботи.

Визначення рівнів опромінення персоналу для лазерів 2—4 класів повинно проводитися періодично не рідше одного разу на рік в порядку поточного санітарного нагляду. Крім того, здійснюється контроль за дотриманням:

- ◆ граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- ◆ гранично допустимих рівнів вібраційної швидкості;
- ◆ гранично допустимих рівнів електромагнітних випромінювань;
- ◆ гранично допустимих рівнів іонізуючих випромінювань.

Лазери 3—4 класу, що генерують випромінювання у видимому діапазоні ( $\lambda = 0,4—0,75$  мкм), і лазери 2—4 класів з генерацією в ультрафіолетовому діапазоні ( $\lambda = 0,2—0,4$  мкм) та інфрачервоному діапазоні довжин хвиль ( $\lambda = 0,75$  мкм та вище) повинні споряджатися сигнальними пристроями, які працюють з моменту початку генерації до її закінчення. Конструкція лазерів 4 класу повинна забезпечуватися можливістю дистанційного керування.

Для обмеження поширення прямого лазерного випромінювання за межі області випромінювання лазери 3—4 класу повинні обладнуватися екранами, виготовленими з вогнестійкого світлобіраючого матеріалу, що не піддається плавленню і перешкоджає поширенню випромінювання.

Лазери четвертого класу повинні розташовуватися в окремих приміщеннях. Внутрішня обробка стін і стелі приміщень повинна мати матову поверхню. Для зменшення діаметру зіниць необхідно забезпечити високу освітленість на робочих місцях (більше 150 лк).

З метою виключення можливості небезпеки опромінення персоналу для лазерів 2—3 класів необхідно або огороджувати всю небезпечну зону, або екранувати пучок випромінювання. Екрани та огороження повинні виготовлятися з матеріалів з найменшим коефіцієнтом відбивання на довжині хвилі генерації лазера, бути вогнестійкими і не виділяти токсичних речовин при дії на них лазерного випромінювання.

У тому випадку, коли колективні засоби захисту не дозволяють забезпечити достатнього захисту, застосовуються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) — окуляри проти лазерів та захисні маски.

Конструкція окулярів проти лазерів повинна забезпечувати зменшення інтенсивності опромінення очей лазерним випромінюванням до ГДК у відповідності з вимогами ГОСТ 12.4.013-75.

Завдання до самостійної підготовки  
Вивчення матеріалу лекції

Лекцію розробив:

Доцент

М.І.Адаменко