

4. ТЕХНОГЕННА СФЕРА ТА ЇЇ НЕГАТИВНІ ЧИННИКИ

За визначенням *техногенна сфера* – це все те, що створено людиною для задоволення її потреб. Потенційні можливості задоволення потреб людини, що постійно зростають, визначаються передусім рівнем науково-технічного прогресу та соціально-економічною ефективністю використання його результатів. Чим цілеспрямованіше та ефективніше використовуватимуться новітні досягнення науки і техніки, тим успішніше вирішуватимуться пріоритетні соціальні завдання безпечної життєдіяльності суспільства.

Буквально *науково-технічний прогрес* – це безперервний взаємозумовлений процес розвитку науки і техніки. У більш широкому розумінні науково-технічний прогрес трактують як безперервний процес створення нових та вдосконалення наявних технологій, засобів виробництва і кінцевої продукції на основі новітніх досягнень науки.

Йому властиві як еволюційні (нагромадження кількісних змін), так і революційні (стрибкоподібні якісні зміни) форми розвитку. *Еволюційні форми* науково-технічного прогресу характеризуються поліпшенням окремих техніко-експлуатаційних параметрів виробів чи технологій їх виготовлення, модернізацією чи створенням нових моделей машин, обладнання, приладів, матеріалів у межах одного і того ж покоління техніки. *Революційні форми* науково-технічного прогресу зумовлюють впровадження принципово нових науково-технічних ідей, які приводять до зміни поколінь техніки та кінцевої продукції.

Принципова новизна поширюваних сьогодні високих технологій полягає в їх органічному поєднанні з мікроелектронними засо-

бами і, як наслідок, в їхньому збагаченні елементами штучного інтелекту, а широке використання комп'ютерів зумовлює автоматизацію багатьох видів розумової праці. В таких умовах зміцнюється тенденція до скорочення масштабів використання живої людської праці, що особливо виявляється при використанні технологій, в яких контроль за процесами виходить за межі фізичних можливостей людини. На думку деяких учених, розпочинається так звана *інформаційна революція*, яка за розмахом та можливою глибиною уподібниться індустриальній революції. Вона стане підґрунтям для фундаментальних перетворень в інтелектуальній діяльності, зокрема у галузі ухвалення рішень, у тому числі рішень з проблем безпечної життєдіяльності.

Однак сьогодні доводиться констатувати, що незважаючи на перспективність інформаційної революції, її наслідки самі по собі не спроможні забезпечити належний рівень безпеки людства. Тому пошук шляхів для вирішення основних проблем безпечної життєдіяльності нині не обмежується створенням лише теоретичної концепції, а й потребує обґрунтування методів та засобів практичної реалізації найефективніших ідей щодо підвищення рівня техногенної безпеки.

4.1. Небезпека технологічних процесів

Будь-який технологічний процес при його системному аналізі розглядається як сукупність окремих елементів. Функції кожного з цих елементів характеризуються певним набором параметрів Y_i і відповідним набором вхідних чинників, серед яких виділяють такі, що є контрольованими і нерегульованими U_K , і такі, що контролюються і регулюються людиною-оператором або автоматичним пристроєм X_j . Крім того, будь-який елемент технологічного процесу постійно перебуває під впливом неконтрольованих випадкових чинників Z_l . Окремий елемент технологічного процесу схематично зображений на рис. 4.1.

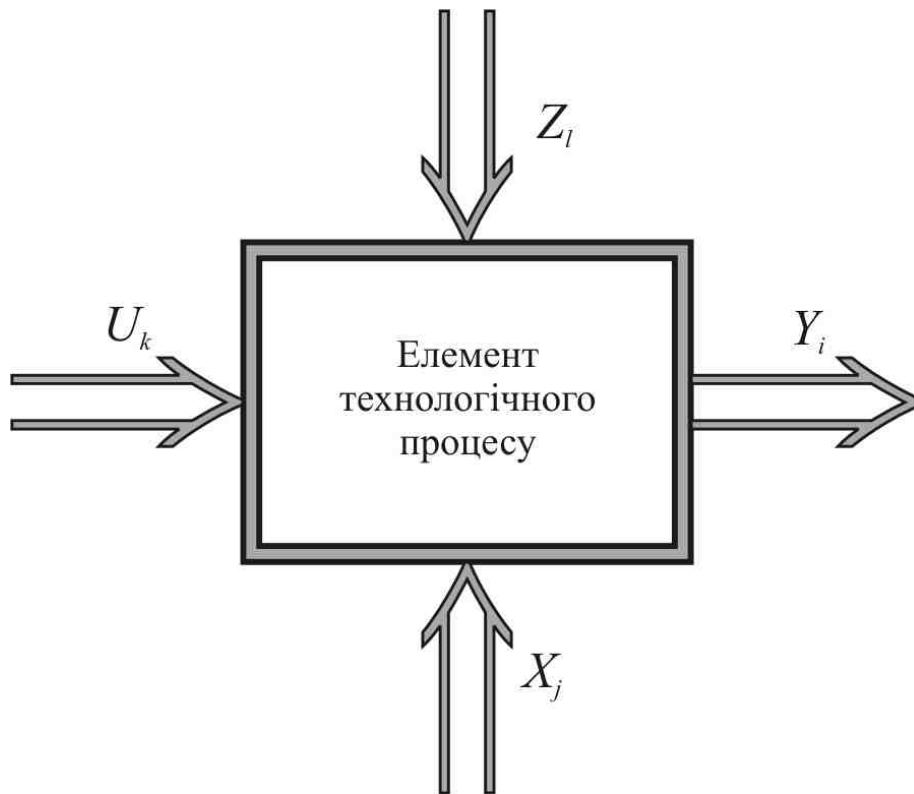


Рис. 4.1. Схематичне зображення елемента технологічного процесу

Очевидно, що набір вихідних параметрів Y_i , які характеризують роботу заданого елемента, перебуває у функціональній залежності від усіх інших:

$$Y_i = F_i(X_i, U_i, Z_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (4.1)$$

Для ефективного та безпечного управління заданим елементом технологічного процесу потрібно встановити вигляд цієї функціональної залежності.

Проте зробити цього не можна, оскільки частина вхідних чинників, а саме Z_1 , є неконтрольованими та часто й невідомими для нас. Однак систему рівнянь (4.1) запишемо у вигляді

$$Y_i = F_i(X_j, U_k) + \Psi_i(Z_1) \quad (4.2)$$

і встановимо вигляд функцій F_i та оцінимо шум Ψ_i . Якщо шумом, яким супроводжується робота будь-якого елемента технологічного процесу, знехтувати, то його функціонування опишемо математичною моделлю

$$Y_i = F_i(X_j; U_k). \quad (4.3)$$

Такі моделі широко використовують для управління технологічними процесами, але з погляду на їхню безпеку треба пам'ятати, що вони не враховують вплив випадкових чинників Z_1 .

Під час реалізації технологічних процесів стан кожного елемента повинен бути чітко визначеним. Оскільки забезпечити постійність усіх чинників, пов'язаних з цим елементом, досить складно, то задають певний коридор зміни для кожного чинника і математичну модель записують так:

$$\bar{Y}_i \pm \Delta Y_i = F_i \left(\bar{X}_j \pm \Delta X_j; \bar{U}_k \pm \Delta U_k \right). \quad (4.4)$$

Поки вхідні чинники X_j та U_k коливаються відповідно навколо своїх середніх значень \bar{X}_j та \bar{U}_k , а вихідні параметри Y_i – навколо \bar{Y}_i у межах ΔY_i , то елемент функціонує відповідно до технологічного регламенту в безпечному режимі (див. рис. 4.2).

Якщо один із вхідних чинників X_j чи U_k виходить за допустимі межі, то стабільне функціонування елемента порушується, проте небезпечна ситуація може не виникнути, якщо людина-оператор чи автоматичний пристрій вчасно повернуть його в допустиму ділянку. Небезпечна ситуація виникатиме лише тоді, коли втрачатиметься контроль над управлінням елементом технологічного процесу. Така втрата контролю зумовлюється як психофізіологічними особливостями оператора, так і технічними обмеженнями відповідного обладнання.

Проблема безпечного функціонування технологічних процесів ускладнюється тим, що вони охоплюють значну кількість елементів, які можуть з'єднуватися за послідовною чи паралельною схемами, а найчастіше за змішаними (паралельно-послідовними) схемами. Простежити зміни в таких технологічних процесах стає важче, особливо, якщо вони є зміщеними в часі та розділеними в просторі.

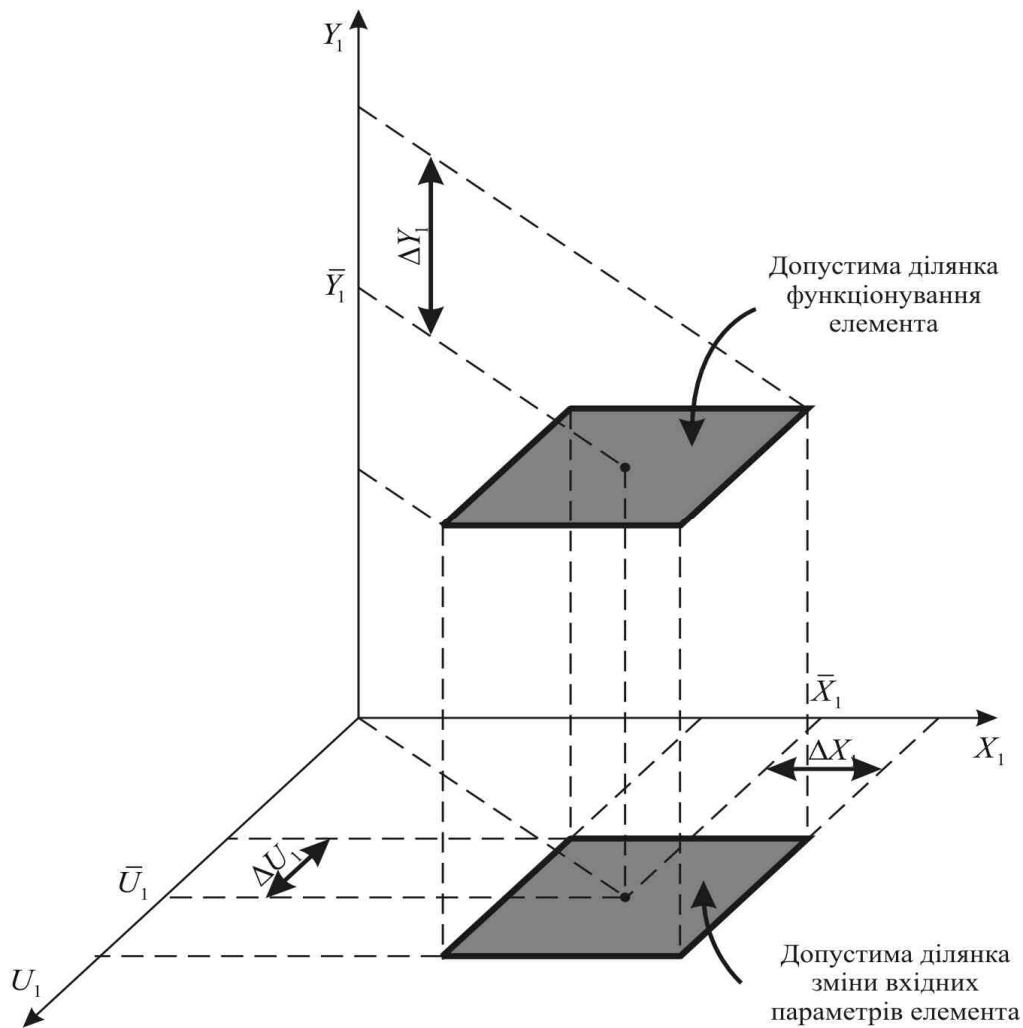


Рис. 4.2. Межі зміни входних чинників X_1 і U_1 та вихідного параметра Y_1 , при яких елемент технологічного процесу функціонує в безпечному режимі

Розглянемо два випадки з'єднання трьох елементів технологічних процесів, які описуються найпростішою лінійною залежністю:

$$Y_i = a_i X_i + b_i U_i + c_i. \quad (4.5)$$

У першому випадку ці елементи з'єднані за послідовною схемою, зображеною на рис 4.3. Кожний із них описується своєю функціональною залежністю:

$$\begin{aligned} Y_1 &= a_1 X_1 + b_1 U_1 + c_1; \\ Y_2 &= a_2 X_2 + b_2 U_2 + c_2; \\ Y_3 &= a_3 X_3 + b_3 U_3 + c_3. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Знайдемо, як впливає відхилення чинників X_1 та U_1 на вихідні параметри всіх трьох елементів.

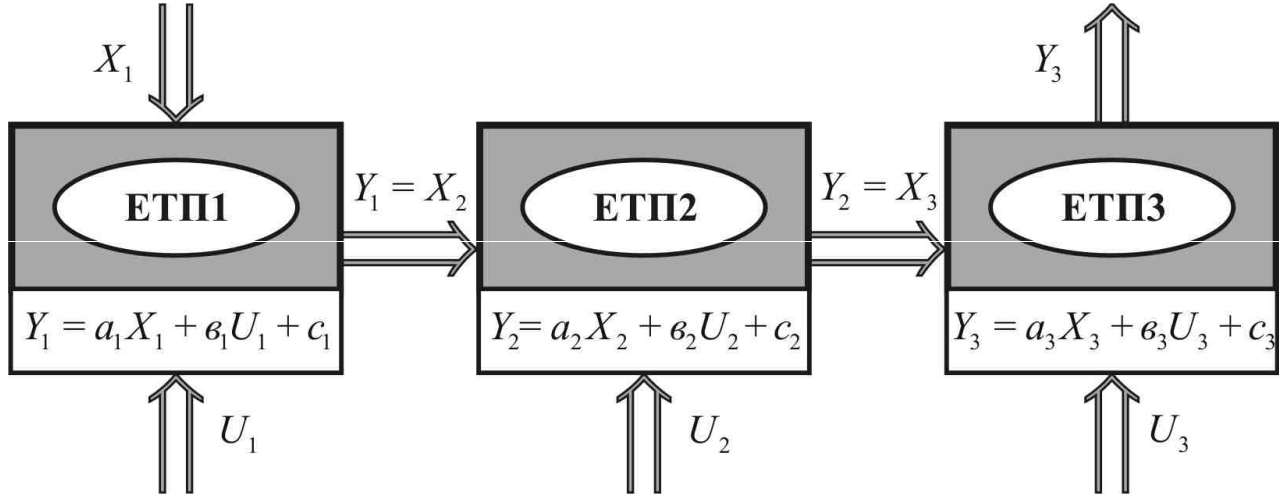


Рис. 4.3. Послідовне з'єднання елементів технологічного процесу

Для першого елемента запишемо:

$$\begin{aligned}\bar{Y}_1 \pm \Delta Y_1 &= a_1 (\bar{X}_1 \pm \Delta X_1) + b_1 (\bar{U}_1 \pm \Delta U_1) + c_1 = (a_1 \bar{X}_1 + b_1 \bar{U}_1 + c_1) \pm \\ &\pm a_1 \Delta X_1 \pm b_1 \Delta U_1 = \bar{Y}_1 \pm (a_1 \Delta X_1 + b_1 \Delta U_1)\end{aligned}$$

та $\Delta Y_1 = a_1 \Delta X_1 + b_1 \Delta U_1$.

Для другого елемента матимемо:

$$\begin{aligned}\bar{Y}_2 \pm \Delta Y_2 &= a_2 (\bar{X}_2 \pm \Delta X_2) + b_2 (\bar{U}_2 \pm \Delta U_2) + c_2 = \\ &= a_2 \bar{X}_2 \pm a_2 \Delta X_2 + b_2 \bar{U}_2 \pm b_2 \Delta U_2 + c_2 = \\ &= a_2 \bar{X}_2 + b_2 \bar{U}_2 + c_2 \pm a_2 \Delta X_2 \pm b_2 \Delta U_2 = \\ &= \bar{Y}_2 \pm (a_2 a_1 \Delta X_1 + a_2 b_1 \Delta U_1 + b_2 \Delta U_2)\end{aligned}$$

та $\Delta Y_2 = a_2 a_1 \Delta X_1 + a_2 b_1 \Delta U_1 + b_2 \Delta U_2$.

Для третього елемента –

$$\begin{aligned}\bar{Y}_3 \pm \Delta Y_3 &= a_3 (\bar{X}_3 \pm \Delta X_3) + b_3 (\bar{U}_3 \pm \Delta U_3) + c_3 = \\ &= a_3 \bar{X}_3 + b_3 \bar{U}_3 + c_3 \pm a_3 \Delta X_3 \pm b_3 \Delta U_3 = \\ &= \bar{Y}_3 \pm (a_3 a_2 a_1 \Delta X_1 + a_3 a_2 b_1 \Delta U_1 + a_3 b_2 \Delta U_2 + b_3 \Delta U_3)\end{aligned}$$

та $\Delta Y_3 = a_3 a_2 a_1 \Delta X_1 + a_3 a_2 b_1 \Delta U_1 + a_3 b_2 \Delta U_2 + b_3 \Delta U_3$.

Аналогічні міркування для другої схеми паралельно-послідовного з'єднання елементів технологічного процесу, яка показана на рис. 4.4, приводять до таких виразів для відхилень вихідних параметрів Y_i :

$$\Delta Y_1 = a_1 \Delta X_1 + b_1 \Delta U_1;$$

$$\Delta Y_2 = a_2 \Delta X_2 + b_2 \Delta U_2;$$

$$\Delta Y_3 = a_{31} a_1 \Delta X_1 + a_{32} a_2 \Delta X_2 + a_{31} b_1 \Delta U_1 + a_{32} b_2 \Delta U_2 + b_3 \Delta U_3.$$

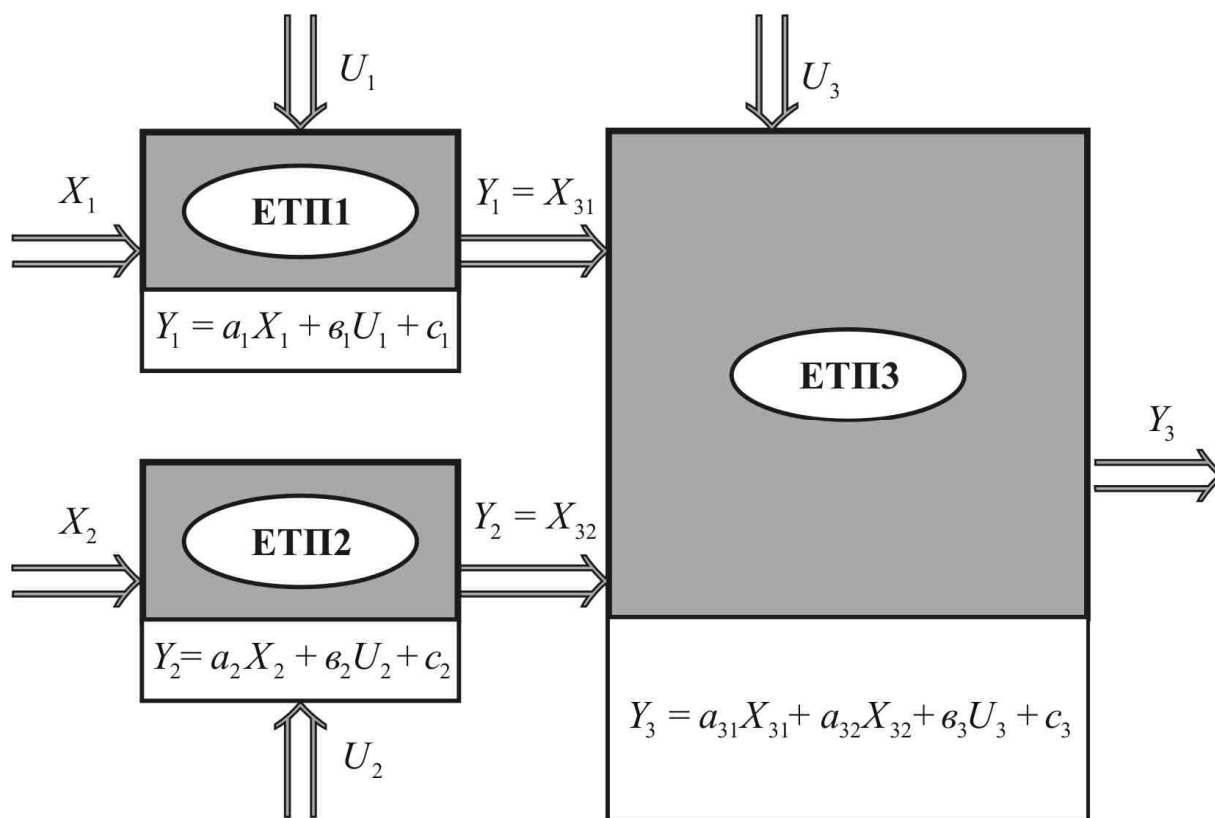


Рис. 4.4. Паралельно-послідовне з'єднання елементів технологічного процесу

Аналіз відхилень вихідних параметрів в обох схемах показує, що відхилення, які виникають на попередніх елементах, викликають відхилення вихідних параметрів на всіх наступних елементах. Якщо кількість таких елементів зростає, то, відповідно, зростає складність залежностей для відхилень вихідних параметрів ΔY_i .

У випадках, коли випадкові відхилення вхідних чинників за дозволені межі своєчасно не ліквідовані, то вони викликають ланцюгову реакцію відхилень, які можуть призвести до небезпечної ситуації. Цей нескладний аналіз показує важливість строгого дотримання технологічних регламентів, однак і в цьому випадку треба пам'ятати, що будь-яка модель, яка лежить в основі управління технологічним процесом, є певним наближенням до реального процесу відповідно до рівняння (4.2).

Звичайно, будь-який вихід параметрів вхідних чинників за допустимі межі миттєво не спонукає до надзвичайної ситуації. Розвиток подальших подій залежить від організації управління цим технологічним процесом. Сьогодні розвивається антропоцентричний підхід щодо ролі людини в системах управління. Суть цього підходу полягає в тому, що людину-оператора розглядають не як специфічну ланку технічної системи, а як суб'єкт, що цілеспрямовано діє і використовує в процесі реалізації цієї діяльності автоматичні пристрої.

При машиноцентричному підході людина-оператор розглядається як додаткова ланка в управлінні технічною системою. Розробники нової техніки віддають перевагу цьому підходу, оскільки мають можливість забезпечити надійність при виникненні неполадок у засобах автоматизації шляхом створення резервних схем управління. Відтак розробники у машиноцентричному підході опосередковано через автоматичні пристрої виконують провідну роль в управлінні технічними системами, а оператору відводиться другорядна.

В антропоцентричному підході людина-оператор є головною ланкою управління, оскільки розробникам техніки не завжди вдається створити технічні системи високої надійності шляхом технічного резервування в управлінні системою. В разі такого підходу людина-оператор виконує функцію резервної схеми управління на той випадок, коли автоматичні пристрої виконати її не можуть. Однак такий підхід не позбавлений недоліків, оскільки при автоматичних режимах управління людина-оператор не займається безпосередньо управлінням. Це зумовлює зниження її активності, втрату професійних навиків і, як наслідок, підвищення рівня небезпеки.

Тому перспективним є новий різнозначний підхід до управління технологічними процесами, який поєднує позитивні моменти як машиноцентричного, так і антропоцентричного підходів. В основу цього підходу покладено принцип взаємного страхування людини-оператора і автоматичних пристроїв. Його суть можна трактувати так: людина-оператор страхує автоматичні пристрої у випадках відмови техніки та непередбачених ситуацій шляхом пониження рівня автоматизації, а автоматика страхує людину-оператора у випадках виникнення в його діях суб'єктивних труднощів шляхом підвищення рівня автоматизації. Хоча цей принцип відкриває нові можливості у підвищенні безпеки технічних систем, але проблема розподілу функцій між людиною-оператором і автоматикою залишається відкритою, оскільки немає універсальних рішень на всі випадки. В кожному конкретному випадку їх треба вирішувати творчо з урахуванням особливостей технологічних процесів.

Зауважимо, що функціонування елементів технологічних систем забезпечується різноманітними пристроями, які в сукупності формують складні великомасштабні технічні об'єкти. Сучасні технічні об'єкти характеризуються структурною, функціональною та управлінською складністю. *Структурна складність* визначається конструкційно-технологічними недоліками окремих елементів, які технічно не можуть забезпечити їхню роботу відповідно до їх математичних моделей. *Функціональна складність* характеризується можливою неузгодженістю в організації внутрішньосистемної взаємодії між її елементами внаслідок багатоманітності станів системи. *Складність управління* зумовлюється труднощами в організації міжсистемної взаємодії, які виникають унаслідок неповної формалізації процесів управління через неоднозначність використаних критеріїв у моделях управління.

Повної гарантії безпечної реалізації технологічних процесів, звичайно, немає, проте її можна значно підвищити, якщо:

- ❑ вибирати технологічні процеси з найменшою кількістю елементів;
- ❑ використовувати математичні моделі елементів технологічних процесів (4.2) з найменшими функціями шумів $\psi_i(Z_i)$;

- забезпечити функціонування всіх елементів технологічних процесів поблизу стаціонарної ділянки, де значення коефіцієнтів a_i та b_i є малими.

Звичайно, це складна задача на пошук оптимального рішення в умовах існування багатьох обмежень. Зменшення кількості елементів технологічних процесів веде до збільшення кількості чинників для одного елемента. Точніші математичні моделі є значно складнішими, вони охоплюють більше чинників, що контролюються, і їх використання потребує складнішого апаратного обладнання. Тому сьогодні багато таких задач вирішується на емпіричному рівні. Крім того, треба врахувати, що поряд з безпекою технологічних процесів важливою є і їхня економічна ефективність.

У будь-якому виробництві існує компроміс між рівнем його безпеки та рівнем його прибутковості. Можна досягнути значних прибутків, нехтуючи безпекою персоналу або населення загалом, а можна встановити такі вимоги безпеки, що виробництво стане збитковим і неможливим. Цей компроміс треба вирішувати на підставі таких положень:

- будь-яке виробництво повинно приносити більше користі (зрозуміло, для суспільства, а не для окремої особи), ніж завдавати шкоди довкіллю, населенню, персоналу;
- інтенсивності дії небезпечних та шкідливих чинників на будь-якому виробництві повинні бути нижчими, ніж граничнодопустимі, а зони їхньої дії – найменшими;
- вплив небезпечних та шкідливих чинників на здоров'я людей, довкілля має бути настільки низьким, наскільки це можна досягнути з урахуванням соціально-економічних чинників.

Реалізація цих положень потребує виважених рішень як з боку державних органів, так і виробничих структур. Часто за браком твердої державної політики, безвідповідальності апарату управління та неналежної професійної підготовки спеціалістів вузькокорпоративні інтереси завдають великої шкоди суспільству.

4.2. Небезпечні та шкідливі чинники техногенного середовища

Класифікація небезпечних та шкідливих чинників подана у розділі 1. Розглянемо їх детальніше. Ймовірність уникнення шкоди для здоров'я різко зростає, якщо людина знає особливості дії таких чинників на організм.

Усі чинники володіють певним запасом енергії, яка під час взаємодії з людиною передається людському організмові. Сприймати енергію людський організм здатний тільки у вигляді їжі. Всі інші види енергії, що передаються організму, шкідливі. Незважаючи на значну специфічність дії різних чинників на організм людини, сьогодні прийнято вважати, що для переважної їх більшості існує певний поріг нечутливості організму до дії того чи іншого чинника (див. рис. 4.5).

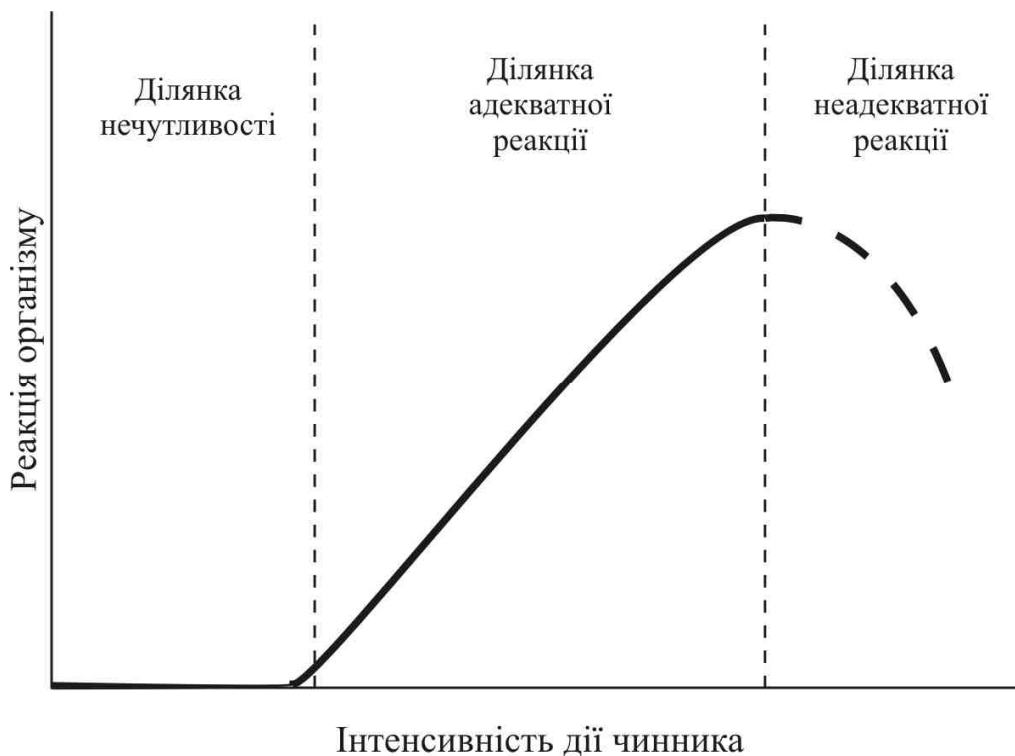


Рис. 4.5. Залежність реакції організму від інтенсивності дії чинника

У ділянці адекватної реакції організм мобілізує свої резерви, щоб зменшити шкоду від дії небезпечного чи шкідливого чинника, але, якщо інтенсивність його дії дедалі зростає, то настає ділянка неадекватної реакції організму. Неадекватна реакція свідчить про те, що завдана шкода унеможлиблює подальше нормальне функціонування організму.

4.2.1. Механічні чинники. Механічні чинники володіють запасом кінетичної чи потенціальної енергії, передача якої організму спричинює травми (переломи кісток, розриви м'яких тканин, судин, здавлювання клітин). Значна кількість таких травм, особливо життєво важливих органів людини, несумісні із життям. Кістки людини витримують зусилля до 10^4 Н, м'які тканини руйнуються при значно менших зусиллях.

Обмін енергією між об'єктами (одним із таких об'єктів є тіло людини), що взаємодіють, характеризується роботою сили, яка прикладена до об'єкта. При зміні кінетичної енергії рухомого об'єкта виконується робота

$$A = \frac{m}{2}(V_n^2 - V_k^2), \quad (4.7)$$

де m – маса рухомого об'єкта, V_n ; V_k – початкова і кінцева швидкість руху об'єкта. При зміні потенціальної енергії об'єкта в полі тяжіння (падіння) робота, що виконується, дорівнює

$$A = mg(Z_n - Z_k), \quad (4.8)$$

де m – маса об'єкта; g – прискорення сили земного тяжіння; Z_n , Z_k – початкова і кінцева висота об'єкта.

Робота A пов'язана із силою F , що її виконує, рівнянням

$$A = FL \cos \alpha, \quad (4.9)$$

де L – довжина переміщення, на якому прикладена сила F ; α – кут між напрямом прикладеної сили і напрямом переміщення.

Оскільки травми характеризуються незначним переміщенням частин тіла, то навіть у разі невеликої виконаної роботи виникають

значні зусилля. Якщо кут між напрямом руху об'єкта і частиною тіла є близьким до 90° , то ймовірність важких травм значно зростає.

У людини виникає природний страх перед висотою і інстинкт самозбереження застерігає будь-кого від бездумного кроку стрибнути з даху висотного будинку, проте цей інстинкт майже не спрацьовує, коли людина знаходиться на поверхні землі, наприклад, сидить в автомобілі, що рухається. В табл. 4.1 наведені еквіваленти висоти падіння швидкості руху або взаємного зближення. Вважають, що людина фізіологічно витримує удар при швидкості до 40 км/год.

Таблиця 4.1

Еквівалент висоти падіння швидкості руху чи взаємного зближення

Висота падіння		Швидкість руху чи взаємного зближення	
м	у поверхах будинків	м/с	км/год
6,2	2	11,2	40
14,2	4	16,7	60
31,9	10	25,0	90
55,5	18	33,3	120
127,5	40	50,0	180
222,4	74	66,7	240

4.2.2. Термічні чинники. Термічні чинники мають певний запас теплової енергії і аномальну температуру (дуже високу, або дуже низьку температуру порівняно з кімнатною). Передаючи її людському організмові, вони викликають термічні опіки різного ступеня. Кількість тепла, яку нагрітий об'єкт Q_1 може віддати тілу людини, визначається за формулою:

$$Q_1 = m_1 c_1 (t_0 - t_T), \quad (4.10)$$

де m_1 – маса об'єкта; c_1 – теплоємність речовини об'єкта; t_0 і t_T – температура об'єкта та тіла людини відповідно. Кількість тепла, яку нагрітий об'єкт віддав тілу людини за час контакту τ , розраховується за формулою:

$$Q_2 = KS(t_0 - t_T)\tau \leq Q_1, \quad (4.11)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі; S – площа теплообміну.

Згідно з тепловим балансом, передане тепло йде на нагрівання тканин організму, отже запишемо таке рівняння:

$$Q_2 = m_2 c_2 (t_h - t_T), \quad (4.12)$$

де m_2 і c_2 – маса і теплоємність тканин організму; t_h – температура, до якої нагріваються тканини.

Масу нагрітої ділянки тіла виразимо через її об'єм V за рівнянням

$$m_2 = \rho V = h \rho S, \quad (4.13)$$

де ρ – густина тканин; h – глибина поширення тепла.

Підставляючи (4.13) в (4.12) і прирівнюючи до (4.11), знаходимо температуру нагрітої ділянки тіла:

$$t_H = t_T + \frac{K(t_0 - t_T)\tau}{\rho c_2 h}. \quad (4.14)$$

Як видно з формули, температура, до якої може нагрітися певна ділянка тіла, залежить від коефіцієнта теплопередачі, температури нагрітого тіла, часу контакту з нагрітим об'єктом, глибини поширення тепла (інші величини t_T , ρ і c_2 є постійними). Коефіцієнт теплопередачі різко зростає, коли виникають сприятливі умови для контакту обох об'єктів, наприклад гарячої води та тіла людини. Оскільки через низьку теплопровідність тканин глибина поширення тепла є незначною, то треба очікувати, що верхні шари тканин нагріваються до високих температур.

Зауважимо, що при нагріванні шкіри до температури 44°C відбувається її пошкодження і виникають больові відчуття, а при нагріванні до температури 77°C – настає її миттєве руйнування.

Температура, до якої нагріваються тканини організму, не залежить від площі контакту, проте шкода для організму суттєво залежить від площі ураженої ділянки тіла. За площею ураженої ділянки термічні опіки поділяються на три групи: легкі, середні та важкі.

4.2.3. Електричні чинники. Електричні чинники володіють запасом електричної енергії, яка передається електричним струмом – напрямленим рухом носіїв електричного заряду.

Електричний струм, проходячи через людський організм, спричиняє біологічну, електрохімічну, теплову і механічну дії.

Біологічна дія електричного струму виявляється у подразненні та збудженні тканин організму і супроводжується судомним скороченням м'язів, викликаючи різні порушення у функціонуванні організму аж до повної зупинки дихання та роботи серця.

Електрохімічна дія електричного струму супроводжується електролізом (розкладом) рідин, у тому числі і крові, порушуючи їх фізико-хімічний склад.

Теплова дія електричного струму призводить до різного ступеня опіків окремих ділянок тіла, навіть до обвуглення.

Механічна дія виявляється у розшаруванні тканин, а також у відриванні окремих частин тіла.

Така багатоманітна дія електричного струму на організм людини спричиняє багато травм, які об'єднують у три групи: місцеві, загальні та змішані (місцеві та загальні одночасно). Статистика свідчить, що місцеві травми становлять 20%, загальні – 25, а змішані – 55% від усіх електричних травм.

Місцеві електротравми – це чітко виражені місцеві порушення тканин організму, які виліковуються, і працездатність людини відновлюється повністю або частково. До них відносять: опіки, електроплями, металізація шкіри, електроофтальмія та механічні пошкодження.

Опіки становлять до 65% від усіх місцевих травм і можуть бути викликані проходженням електричного струму чи електричною дугою. На шляху проходження електричного струму через виділення теплоти відбувається нагрівання тканин до виникнення опіків. Такі опіки виникають при експлуатації електрообладнання невисокої напруги – до 1 000 В. Через закорочення на електрообладнанні високої напруги (понад 1 000 В) виникає електрична дуга, яка спричиняє опіки.

Електроплями (до 20% від усіх місцевих травм) виникають на шкірі, яка підпала під дію електричного струму. Це чітко окреслені плями сірого чи блідо-жовтого кольору, які не викликають болю і при лікуванні шкіра відновлює свої властивості.

Металізація шкіри (до 10% від усіх місцевих травм) відбувається внаслідок проникнення в її верхні шари частинок металу, який розплавився під дією електричної дуги.

Електроофтальмія (до 1% від усіх місцевих травм) – це запалення зовнішніх оболонок очей в результаті дії потужного потоку ультрафіолетових променів, що виникають при електричній дузі.

Механічні пошкодження трапляються зрідка і виникають унаслідок різних мимовільних судомних скорочень м'язів під дією електричного струму.

Загальні травми або електричні удари виникають через збудження тканин організму і виявляються через судомне скорочення м'язів. Результат такої дії електричного струму може бути різним: від ледь відчутного пощипування шкіри до зупинки роботи серця. Електричні удари мають 4 ступені:

1-й – судомне скорочення м'язів без втрати свідомості;

2-й – судомне скорочення м'язів з втратою свідомості, але із збереженням дихання та з роботою серця;

3-й – судомне скорочення м'язів з втратою свідомості та порушенням роботи серця та дихання;

4-й – клінічна смерть (зупинка дихання та кровообігу).

Ступінь ураження організму людини визначається силою електричного струму, який проходить через тіло людини. Характер дії змінного електричного струму на організм людини наведено в табл. 4.2.

Наслідки від дії електричного струму на людину залежать від електричного опору тіла людини, напруги електричної мережі, сили струму, тривалості дії, шляху проходження, роду і частоти струму й індивідуальних особливостей потерпілого.

Електричний опір тіла людини при сухій, чистій та неушкодженій шкірі при напрузі 15–20 В перебуває в межах від 3 000 до 100 000 Ом. При видаленні верхнього шару шкіри він знижується до 500–700 Ом, а при повному зникненні шкіри – до 300–500 Ом.

Крім того, на тілі людини є дуже чутливі до електричного струму ділянки площею 2–3 мм², опір яких завжди є меншим.

Електричний опір тіла зменшується зі збільшенням напруги електричної мережі через пробій верхнього шару шкіри. Він також

зменшується зі збільшенням сили струму та тривалості дії струму внаслідок місцевого нагрівання тканин організму теплом, що виділяється при проходженні струму.

Електричний опір тіла людини також залежить від статі та віку: у жінок та молодих людей він є меншим, ніж у чоловіків та літніх людей.

Фізіологічний стан людини впливає на опір її тіла: хвороба, депресія, сп'яніння, втома зменшують його і роблять організм більш чутливим до дії електричного струму.

Таблиця 4.2

Характер дії змінного електричного струму на організм людини у разі проходження через тіло по шляху рука–рука чи рука–ноги

Значення струму, мА	Характер дії струму
0,6–1,6	Початок відчуття – слабе свербіння, пощипування шкіри під електродами
2–4	Відчуття струму поширюється і на зап'ястя руки, злегка зводить руку
5–7	Больові відчуття посилюються в усій кисті руки, супроводжуються судомами, слабкий біль відчувається по всій руці аж до передпліччя. Руки здебільшого можна відірвати від електродів
8–10	Сильні болі та судоми в усій руці, охоплюючи й передпліччя. Руки важко відірвати від електродів, але здебільшого можна
10–15	Ледве стерпний біль в усій руці. В багатьох випадках руки не можна відірвати від електродів. Із збільшенням часу протікання струму біль посилюється
20–25	Руки паралізує миттєво, відірвати їх від електродів неможливо. Сильний біль, дихання утруднене
25–50	Нестерпний біль у руках і грудях. Дихання дуже утруднене. При тривалому протіканні струму може наступити параліч або послаблення роботи серця з втратою свідомості
50–80	Дихання паралізується через декілька секунд, порушується робота серця. При тривалому протіканні струму може настати фібриляція серця
100	Фібриляція серця через 2–3 с, ще через декілька секунд – параліч серця
300	Така ж сама дія, але за коротший час
Понад 5 000	Дихання паралізується миттєво – через частки секунди. Фібриляція серця не настає, можлива тимчасова зупинка серця у період протікання струму. При тривалому протіканні струму (декілька секунд) виникають важкі опіки, руйнування тканини

Враховуючи залежність електричного опору тіла людини від багатьох чинників та його мінливості, у розрахунках під час обґрунтування безпечних умов експлуатації електрообладнання приймають, що він дорівнює 1 000 Ом.

Наслідки від дії електричного струму також залежать від шляху його проходження. Найхарактерніші електричні кола, які проходять через тіло людини, є: рука–ноги (~57%), рука–рука (~12%), рука–тулуб (~10%). Серед них найнебезпечніші ті електричні кола, за яких під'єднані: дві руки–ноги; ліва рука–ноги; рука–рука; голова–руки.

Постійний струм приблизно в 4–5 разів безпечніший за змінний струм частотою 50 Гц, але це характерно при невисоких напругах – до 250–300 В. В інтервалі напруг 300–600 В небезпека від обох видів струму є приблизно однаковою, а при напругах понад 650 В постійний струм стає небезпечнішим, ніж змінний з частотою 50 Гц.

Підвищення частоти змінного струму від 0 до 50–60 Гц приводить до зменшення повного опору тіла людини, і струм, що проходить через тіло, збільшується, але подальше підвищення частоти супроводжується зменшенням небезпеки ураженням змінним струмом, яка при частоті 450–500 кГц зникає повністю.

Головним чинником, який визначає результат дії електричного струму на тіло людини, є сила струму. Тому для оцінки небезпеки ураження електричним струмом використовують такі поняття:

- ❑ пороговий відчутний струм;
- ❑ пороговий невідпускальний струм;
- ❑ пороговий фібриляційний струм.

Пороговий відчутний струм – це найменше значення струму, який, проходячи через організм, викликає подразнення. Його значення при 50 Гц становить 0,6–1,6 мА. Наприклад, струм силою 0,63 мА відчуває одна особа з тисячі, 1,59 – 999 осіб з тисячі і 1,11 мА – 500 осіб із тисячі.

Пороговий невідпускальний струм – це найменше значення струму, який, проходячи через організм, викликає непереборне судомне скорочення м'язів руки, в якій міститься провідник. Його значення при 50 Гц становить 5–25 мА. Зокрема, струм силою 5,3 мА є

невідпускальним тільки для однієї особи з тисячі, 24,6 – для 999 осіб із тисячі і 14,9 мА – для 500 осіб із тисячі.

Пороговий фібриляційний струм – це найменше значення струму, який, проходячи через організм, викликає фібриляцію серця (порушення ритму роботи). Його значення при 50 Гц становить 50–350 мА. Струм силою 67 мА викликає фібриляцію тільки у однієї особи з тисячі, 367 – у 999 осіб із тисячі і 157 мА – у 500 осіб із тисячі.

Розглянемо можливі схеми дотику людини до провідників електричних мереж і оцінимо силу струму, який при цьому проходить через тіло людини.

На рис. 4.6 та 4.7 зображено можливі схеми дотику людини до провідників електричних мереж:

- 1) однофазний дотик у трифазній мережі з ізольованою нейтраллю у нормальному режимі роботи;
- 2) однофазний дотик у трифазній мережі з ізольованою нейтраллю в аварійному режимі роботи (одна з фаз закорочує на землю);
- 3) двофазний дотик у трифазній мережі з ізольованою нейтраллю;
- 4) однофазний дотик у трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю у нормальному режимі роботи;
- 5) однофазний дотик у трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю в аварійному режимі роботи (одна із фаз закорочує на землю);
- 6) двофазний дотик у трифазній мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Для обчислень приймаємо, що:

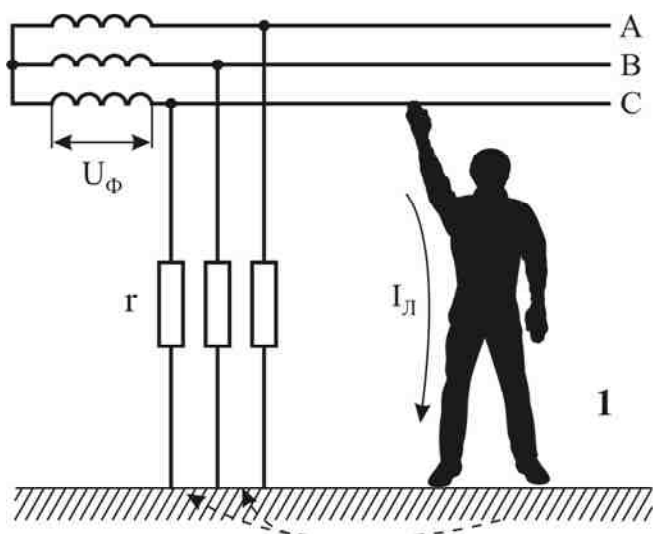
- опір ізоляції електричних проводів $r = 90$ кОм;
- опір ланцюга людини $R_{\text{л}}$ дорівнює сумі опорів одягу $R_{\text{о}}$ тіла людини $R_{\text{т}}$, взуття $R_{\text{в}}$ і опори ніг $R_{\text{н}}$;
- опір одягу $R_{\text{о}}$ коливається в межах 0,5–15 кОм, однак в обчисленнях у найгіршому випадку приймають, що він дорівнює нулю;

- опір тіла людини R_T може коливатися в межах 0,3–100 кОм, а в обчисленнях його приймають 1 кОм;
- опір взуття R_B може коливатися у межах 0,2–500 кОм, а в обчисленнях у найгіршому випадку приймають, що він дорівнює нулю;
- опір опори ніг R_H може коливатись у межах від декількох МОм до декількох Ом, а в обчисленнях у найгіршому випадку приймають, що він дорівнює нулю;
- опір робочого заземлення нейтралі r_0 є значно менший за опір тіла людини і приймаємо, що $r_0 = 0$;
- R_K – опір у разі закорочення на землю, який звичайно є меншим від R_L і в обчисленнях $R_K = 0$;
- U_ϕ – фазна напруга в електричній мережі, яка дорівнює 220 В;
- $U_L = \sqrt{3}U_\phi$ – лінійна напруга в електричній мережі, яка дорівнює 380 В;
- U_A – напруга, яка є менша від лінійної, однак більша від фазної.

Згідно зі схемами можливого під'єднання визначаємо силу струму, який проходить через тіло людини. Одержані результати зображені на рис. 4.6 та 4.7 поряд з можливими схемами дотику.

Найнебезпечнішими є двофазний дотик незалежно від стану нейтралі та однофазний дотик до мереж у аварійному режимі, але в усіх випадках, крім **I**, сила струму перевищує силу фібриляційного струму.

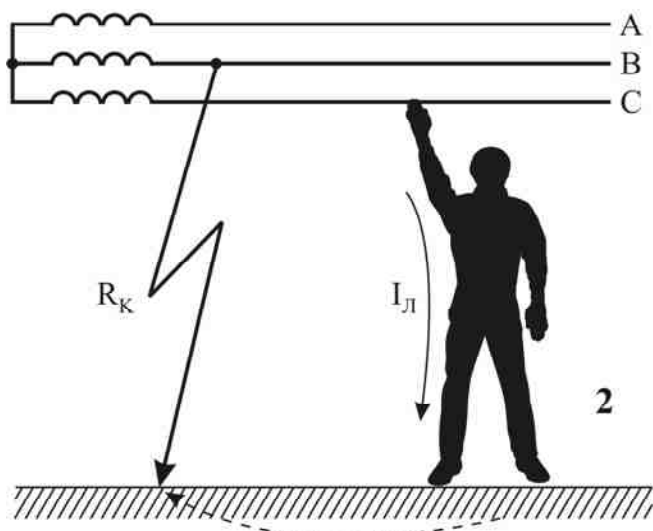
Безпека експлуатації електрообладнання забезпечується комплексом заходів безпеки, використанням електрозахисних засобів і правильною організацією його експлуатації. Комплекс заходів безпеки залежить від параметрів приміщення, в якому розміщене електрообладнання. За цією ознакою приміщення поділяємо на три групи: приміщення без підвищеної небезпеки, приміщення з підвищеною небезпекою та приміщення особливо небезпечні щодо ураження електричним струмом.



$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{л}} + \frac{r}{3}};$$

$$I_{\text{л}} = \frac{220}{1\,000 + \frac{90\,000}{3}};$$

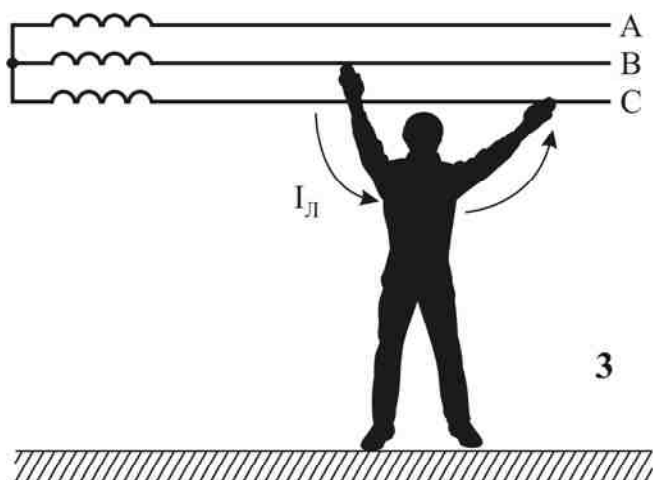
$$I_{\text{л}} = 0,0071 \text{ A} = 7,1 \text{ mA};$$



$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}} + R_{\text{к}}};$$

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Phi}}{R_{\text{л}}};$$

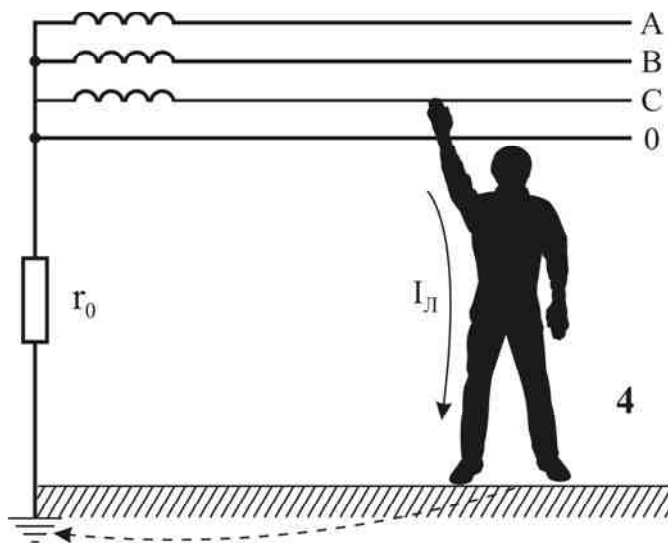
$$I_{\text{л}} = \frac{380}{1\,000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA};$$



$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{R_{\text{л}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\Phi}}{R_{\text{л}}};$$

$$I_{\text{л}} = \frac{380}{1\,000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA}.$$

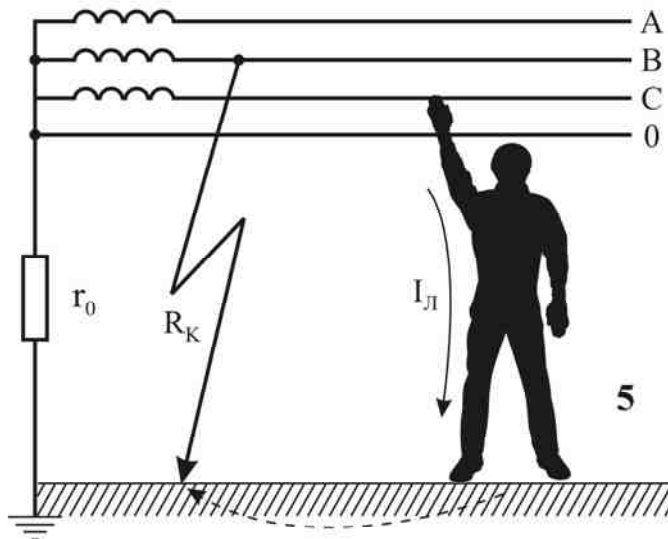
Рис. 4.6. Схема можливих дотиків людини до проводів електричної трифазної мережі з ізольованою нейтраллю



$$I_L = \frac{U_\Phi}{R_L + r_0};$$

$$I_L \approx \frac{U_\Phi}{R_L} = \frac{220}{1\,000} =$$

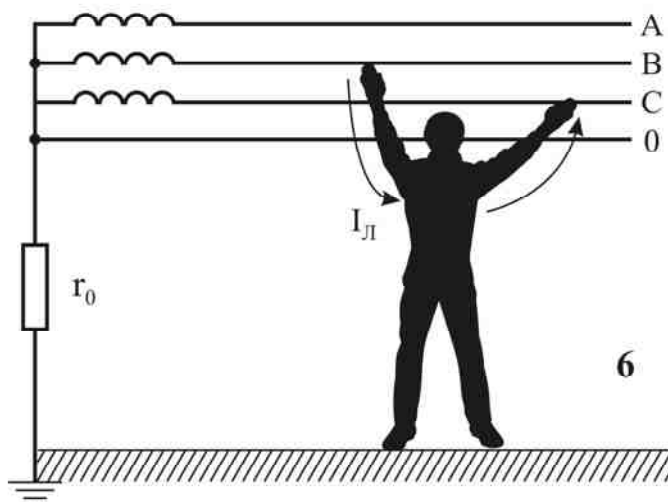
$$= 0,22 \text{ A} = 220 \text{ mA};$$



$$I_L = \frac{U_A}{R_L + R_K} = \frac{U_\Phi \dots U_L}{R_L};$$

$$I_L = \frac{220 \dots 380}{1\,000} = (0,22 \dots 0,38) \text{ A} =$$

$$= (220 \dots 380) \text{ mA};$$



$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_\Phi}{R_L};$$

$$I_L = \frac{380}{1\,000} = 0,38 \text{ A} = 380 \text{ mA}.$$

Рис. 4.7. Схема можливих дотиків людини до проводів електричної трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю

Для приміщень з підвищеною небезпекою характерні такі умови: відносна вологість повітря понад 75%, температура повітря понад 35°C, струмопровідна підлога, струмопровідний пил, можливість одночасного дотику до металоконструкцій, які з'єднані із землею, та корпусів електрообладнання. Якщо ж одночасно наявні дві або більше умов із підвищеної небезпеки, а також відносна вологість повітря близька до 100% та хімічно-активне середовище, то таке приміщення є особливо небезпечним. Всі інші приміщення відносять до приміщень без підвищеної небезпеки.

Умовно заходи безпеки поділяють на дві групи:

- 1) заходи, які забезпечують безпеку експлуатації у нормальному режимі роботи електрообладнання;
- 2) заходи, які забезпечують безпеку в аварійному режимі (у випадку появи напруги на частинах електрообладнання, на яких вона не повинна бути, – корпусах, кожухах та ін.).

У нормальному режимі роботи електрообладнання безпеку його експлуатації забезпечують:

- недоступність і робоча ізоляція струмопровідних частин обладнання;
- захисне розділення мереж;
- використання малих напруг.

Призначення ізоляції – запобігти потраплянню напруги із струмопровідних частин обладнання на неструмопровідні. Електричну ізоляцію поділяють на:

- ❑ основну – ізоляція струмопровідних частин, що призначена для основного захисту від ураження електричним струмом;
- ❑ додаткову – незалежна ізоляція, передбачена додатково до основної для захисту від ураження електричним струмом при пошкодженні основної ізоляції (наприклад, пластмасовий корпус побутових приладів);
- ❑ подвійну – ізоляція, яка складається з основної та додаткової (наприклад, в електричному ручному інструменті);
- ❑ посилену – ізоляція, яка поєднує в собі високі ізоляційні та механічні властивості і забезпечує безпеку на рівні подвійної ізоляції.

Усі електротехнічні вироби за ступенем захисту від ураження електричним струмом поділяють на п'ять класів:

- ❑ клас 0 – електроприлади на номінальну напругу понад 42 В, в яких усі частини, досяжні до дотику, відокремлені основною ізоляцією від частин, які перебувають під напругою, і в яких немає елемента для заземлення;
- ❑ клас 01 – електроприлади на номінальну напругу понад 42 В, в яких усі частини досяжні до дотику, відокремлені основною ізоляцією від частин, які перебувають під напругою, а також з'єднані з елементом для заземлення, розташованим зовні приладу;
- ❑ клас I – електроприлади на номінальну напругу понад 42 В, в яких усі частини, досяжні до дотику, відокремлені основною ізоляцією від частин, які перебувають під напругою, а також з'єднані з елементом для заземлення, розташованим всередині приладу;
- ❑ клас II – електроприлади на номінальну напругу понад 42 В, в яких усі частини, досяжні до дотику, відокремлені подвійною або посиленою ізоляцією від частин, які перебувають під напругою, і в яких немає елемента для заземлення;
- ❑ клас III – електроприлади на номінальну напругу до 42 В, у яких немає частин (зовнішніх та внутрішніх), які працюють при вищій напрузі.

Для електричної ізоляції використовують полімерні матеріали, які під впливом різноманітних чинників з часом втрачають свої властивості і зумовлюють пониження безпеки експлуатації електроприладів. Серед причин, які викликають деградацію властивостей ізоляції, найпоширенішою є нагрівання електропровідників робочими та пусковими струмами, струмами замикання, теплом від сторонніх джерел.

До додаткових заходів, які сприяють безпеці людини у випадку появи напруги на неструмопровідних частинах обладнання, відносять захисне заземлення, занулення, захисне від'єднання, вирівнювання потенціалів.

Захисне заземлення – це свідоме електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металічних неструмопровідних частин обладнання, які можуть потрапити під напругу. Захисна дія заземлення ґрунтується на зниженні напруги дотику під час переходу напруги на неструмопровідні частини. Вона досягається зменшенням потенціалу корпусу стосовно землі як завдяки малому опору заземлення (не більше як 4 Ом для електрообладнання при напругах менших як 1 кВ), так і завдяки підвищенню потенціалу поверхні землі, на якій розміщене обладнання. Згідно з правилами встановлення електрообладнання, заземленню підлягають:

- електрообладнання, яке працює при напрузі 380 В і вище від змінного струму, та 440 В і вище від постійного струму;
- електрообладнання, яке працює при напрузі понад 42 В змінного струму та 110 В постійного струму і розміщене в приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних приміщеннях і зовні приміщень;
- електрообладнання, яке працює за будь-якої напруги і розміщене у вибухонебезпечних приміщеннях.

Оцінимо захисну дію заземлення, визначивши силу струму, який проходить через тіло людини у разі її дотику до заземленого корпусу електрообладнання, що через несправність виявився під напругою.

Розглянемо випадок закорочення однієї із фаз трифазної мережі з ізолюваною нейтраллю на корпус, згідно зі схемою, зображеною на рис. 4.8, а.

Якщо знехтувати ємністю фазних провідників і прийняти, що опори ізоляції r однакові, то струм, який проходить через тіло людини, визначається за формулою

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{л}} + r/3 + R_{\text{л}}r/(3R_3)}, \quad (4.15)$$

де R_3 – опір захисного заземлення електрообладнання.

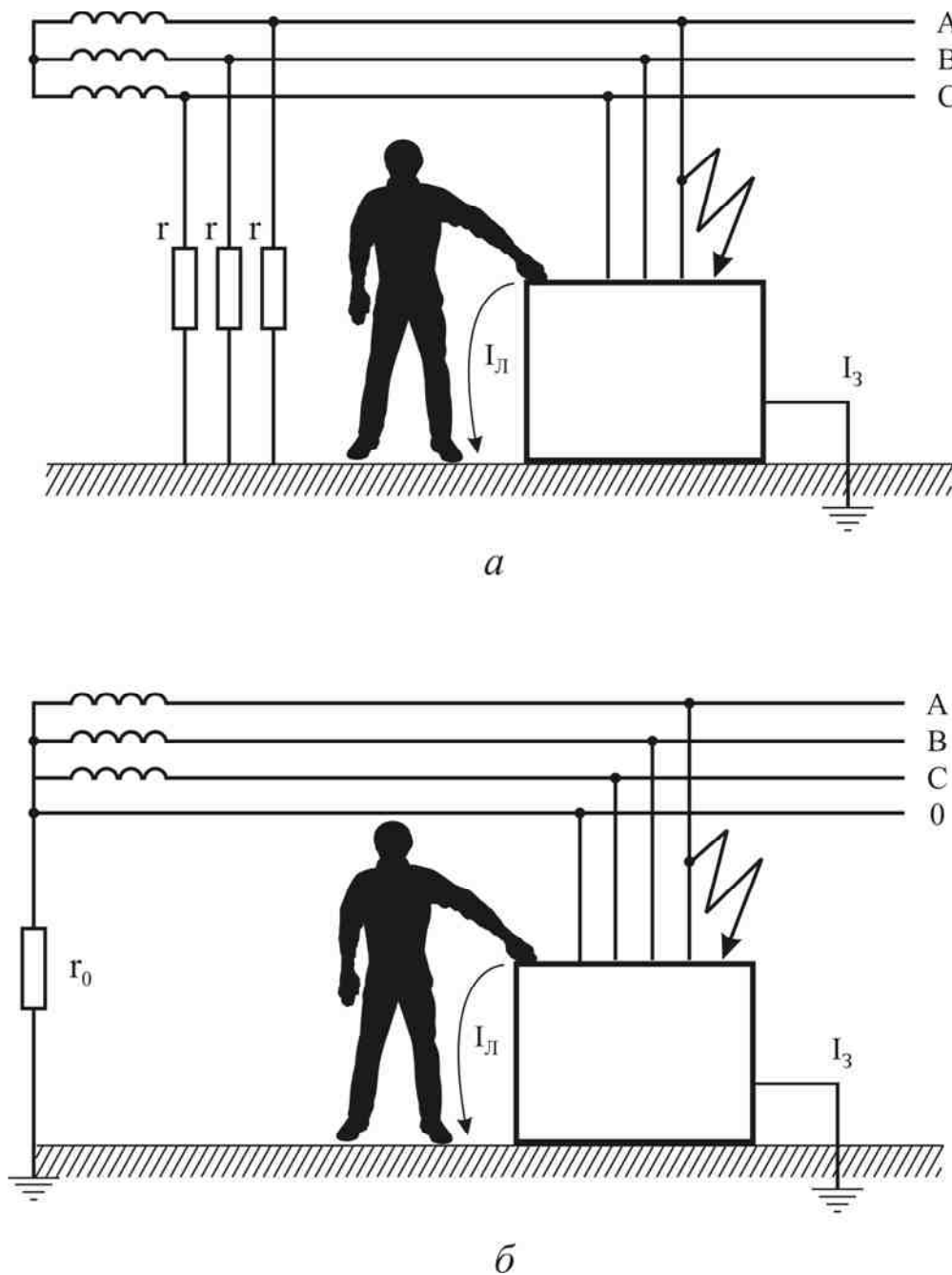


Рис. 4.8. Схема дотику людини до заземленого корпусу електрообладнання:
 а – трифазна мережа з ізолюованою нейтраллю; б – трифазна мережа
 з глухозаземленою нейтраллю

У випадку дотику людини до струмопровідних частин трифазної мережі з ізолюованою нейтраллю матимемо (див. рис. 4.6, схему 1):

$$I_{\text{Л}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{Л}} + r/3}.$$

Як видно з порівняння формули з формулою (4.15), захисне заземлення зменшує силу струму, який проходить через людину. Чим менший опір заземлення R_3 , тим менший струм проходить через тіло людини.

При $R_L = 1\,000\ \text{Ом}$, $r = 90\,000\ \text{Ом}$ і $R_3 = 4\ \text{Ом}$ маємо

$$I_L = \frac{220}{1\,000 + 90\,000/3 + 1\,000 \cdot 90\,000/3 \cdot 4} = 2,9 \cdot 10^{-5}\ \text{А} \approx 0,03\ \text{мА}.$$

У випадку закорочення на корпус однієї із фаз трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю захисне заземлення не забезпечує повної безпеки (див. рис. 4.8, б). Струм, який проходить через людину, в цьому випадку визначається за формулою

$$I_L = \frac{U_\phi}{R_L + r_0 + ((R_L r_0)/R_3)}. \quad (4.16)$$

Оскільки величини r_0 і R_3 спільномірні за величиною і значно менші за R_L , то

$$I_L \approx \frac{U_\phi}{2R_L} = \frac{220}{2\,000} = 0,11\ \text{А} = 110\ \text{мА}.$$

Для таких мереж використовують занулення – під'єднання металічних частин корпусу електрообладнання до нульового провідника. У цьому випадку закорочення фази на корпус перетвориться в однофазне закорочення, яке викликає спрацювання захисту за максимальним струмом і від'єднання обладнання.

Захист за максимальним струмом повинен бути дуже надійним. Він може відбуватись за допомогою плавких вставок чи автоматичних від'єднувачів, розрахованих на певну силу струму. У випадку плавких вставок його надійність визначається товщиною провідника, який у ній міститься. Захисна дія плавких вставок ґрунтується на тому, що тепло, яке виділяється під час проходження через провідник, нагріває його до температури плавлення і розплавляє його, розриваючи коло. У випадку автоматичних від'єднувачів номінальний струм спрацювання автомата не повинен перевищувати 80% сили струму закорочення.

Електрообладнання є також джерелом пожежної небезпеки внаслідок закорочень, перегрівання опорних поверхонь, струмових перевантажень та з інших причин. Кількість пожеж, викликаних неправильною експлуатацією електричних мереж та обладнання, останнім часом різко зростає. Струмові перевантаження, які найчастіше є їх причиною, виникають тому, що старі електричні мережі не розраховані на сучасну кількість електроспоживачів. Збільшення потужності електроспоживачів веде до надмірного виділення тепла і перегріву електропровідників, який спричиняє деградацію властивостей ізоляції.

Визначимо, до якої температури нагрівається провідник при проходженні через нього електричного струму.

Тепло, яке виділяється у провіднику, обчислюють за формулою:

$$Q_1 = I^2 R t, \quad (4.17)$$

де I – сила струму; R – опір провідника і t – час протікання струму.

Опір провідника

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4l}{\pi d^2}, \quad (4.18)$$

де ρ – питомий опір матеріалу; l – довжина провідника; d – його діаметр; S – площа поперечного перерізу.

Підставивши (4.18) в (4.17), маємо:

$$Q_1 = I^2 t \rho \frac{4l}{\pi d^2}. \quad (4.19)$$

З фізики відомо, що кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла від температури T_1 до T_2 , дорівнює:

$$Q_2 = cm(T_2 - T_1), \quad (4.20)$$

де c , m – питома теплоємність матеріалу провідника і відповідно його маса.

Маса провідника:

$$m = \frac{\pi d^2}{4} l \gamma, \quad (4.21)$$

де d – діаметр провідника; l – його довжина і γ – густина матеріалу, з якого зроблено провідник.

Підставивши (4.21) у (4.20), матимемо:

$$Q_2 = \frac{\pi d^2}{4} l \gamma c (T_2 - T_1). \quad (4.22)$$

Прирівнявши Q_1 з Q_2 , знаходимо на скільки градусів максимально може нагрітися провідник:

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{16 \rho I^2 t}{\pi^2 \gamma c d^4}. \quad (4.23)$$

Оскільки величини ρ , γ , c є постійними, то для електричних провідників із конкретних матеріалів виходить, що

$$\Delta T_m = 30 \frac{I^2 t}{d^4} = 30 \frac{P^2 t}{U^2 d^4} \text{ – для мідних провідників,} \quad (4.24)$$

$$\Delta T_a = 69 \frac{I^2 t}{d^4} = 69 \frac{P^2 t}{U^2 d^4} \text{ – для алюмінієвих провідників,} \quad (4.25)$$

де I – сила струму, А; d – діаметр провідників, мм; t – час протікання струму, год; P – потужність споживача, Вт і U – напруга електричної мережі, В.

За формулами (4.23–4.25) визначаємо, на скільки градусів максимально (теоретично) може нагрітися електричний провідник. У реальних умовах частина тепла розсіюється, віддається у навколишнє середовище, тому температура, до якої може нагрітися провідник в умовах реального теплообміну з оточенням, є нижчою і приблизно визначається за формулою

$$T_p = T_K + 10 \ln \Delta T, \quad (4.26)$$

де T_p – температура, до якої може нагрітися провідник; T_K – кімнатна температура; $\Delta T = \Delta T_a$ чи ΔT_m залежно від матеріалу провідників електричної мережі.

Як видно з формул (4.24–4.25), підвищення температури провідників суттєво залежить від їхнього діаметра (d^4), потужності (P^2), часу експлуатації (t) і природи матеріалу. Для мідних провідників підвищення температури є приблизно вдвічі меншим, ніж для алюмінієвих. Важливо додати, що матеріали електроізоляції провідників починають розм'якшуватися і втрачати свої властивості при температурі в межах від 90°C до 110°C. Багатократне розм'якшування і затвердіння матеріалу електроізоляції призводить до її деградації і може спричинити закорочення і пожежі.

Виникнення зарядів статичної електрики, яке відбувається під час деформації, подрібненні, відносному переміщенні двох тіл, що перебувають у контакті, шарів рідких або сипких матеріалів, при інтенсивному перемішуванні, кристалізації, випаровуванні речовин може спричинити значне їх накопичення і впливати на людину через дію електростатичних полів та іскрових розрядів.

У природі відбуваються надпотужні іскрові розряди атмосферних електричних зарядів між хмарами і землею у вигляді блискавок. Блискавка супроводжується електромагнітною, тепловою та механічною дією на об'єкт, через який проходить електричний струм. Потрапляння блискавки в господарський об'єкт може призвести до аварії та пожежі. Для захисту від прямих ударів блискавок та вторинного впливу іскрових зарядів використовують:

- ❑ стрижневі або тросові блискавководводи;
- ❑ металеві заземлені сітки на відкритих об'єктах;
- ❑ заземлення обладнання, що міститься всередині об'єкта;
- ❑ заземлення металевих конструкцій перед їх введенням в об'єкт.

Для запобігання можливості виникнення небезпечних електричних розрядів у технологічних процесах з поверхні обладнання чи речовин, що переробляються, а також з тіла людини, потрібно:

- ❑ зменшити інтенсивність генерації заряду шляхом заземлення обладнання або зменшення його питомого об'ємного і поверхневого електричного опору;
- ❑ нейтралізувати заряди шляхом використання засобів захисту від статичної електрики.

Дія статичної електрики на людину вважається безпечною, коли іскрових розрядів немає, а напруженість електростатичного поля не перевищує допустимих значень.

4.2.4. Електромагнітні чинники. Електромагнітні чинники володіють запасом електромагнітної енергії, величина якої залежить від довжини електромагнітних хвиль:

$$E = h\nu = hc / \lambda, \quad (4.27)$$

де h – постійна Планка; ν і λ – частота і довжина хвилі електромагнітного випромінювання відповідно; c – швидкість світла. Енергетичний спектр електромагнітного випромінювання показаний на рис. 4.9.

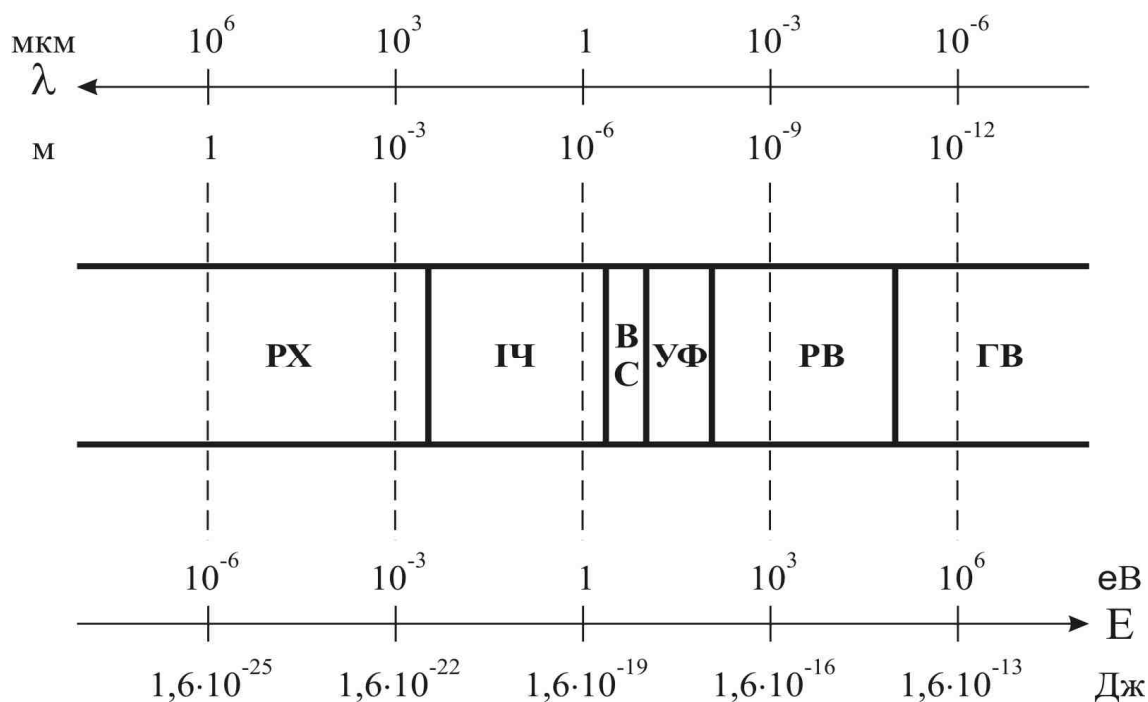


Рис. 4.9. Енергетичний спектр електромагнітних випромінювань: РХ – радіохвилі; ІЧ – інфрачервоне випромінювання; ВС – видиме світло; УФ – ультрафіолетове випромінювання; РВ – рентгенівське випромінювання; ГВ – γ - випромінювання

Електромагнітні випромінювання поділяються на три діапазони:

- ❑ радіочастотний діапазон (радіохвилі);
- ❑ оптичний діапазон (інфрачервоне, ультрафіолетове, лазерне випромінювання, видиме світло);
- ❑ діапазон іонізуючого випромінювання (рентгенівське та γ -випромінювання).

Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону охоплюють широкий спектр частот, поданий у табл. 4.3.

Навколо джерела електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону виділяють три ділянки: ближню, проміжну і дальню. Для точкового джерела випромінювання розміри ділянок визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned}
 \text{радіус ближньої ділянки} & \quad R < \frac{\lambda}{2\pi} ; \\
 \text{радіус проміжної ділянки} & \quad \frac{\lambda}{2\pi} < R < 2\pi\lambda ; \\
 \text{радіус дальньої ділянки} & \quad R > 2\pi\lambda .
 \end{aligned} \tag{4.28}$$

При направленому випромінюванні для круглих і параболічних антен розміри цих ділянок визначають за такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned}
 \text{радіус ближньої ділянки} & \quad R < \frac{d^2}{4\lambda} ; \\
 \text{радіус проміжної ділянки} & \quad \frac{d^2}{4\lambda} < R < \frac{d^2}{4\lambda} ; \\
 \text{радіус дальньої ділянки} & \quad R > \frac{d^2}{4\lambda} ,
 \end{aligned} \tag{4.29}$$

де d – діаметр відбивача.

Таблиця 4.3.

Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону

Діапазон частот	Назва діапазонів хвиль	Частота хвилі, Гц	Довжина хвилі, м
Низькі і наднизькі частоти	Інфранизькі	$3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-1}$	$10^{10} - 10^9$
	Низькі	$3 \cdot 10^{-1} - 3$	$10^9 - 10^8$
	Промислові	$3 - 3 \cdot 10^2$	$10^8 - 10^6$
	Звукові	$3 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^4$	$10^6 - 10^4$
Високі частоти	Довгі	$3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$	$10^4 - 10^3$
	Середні	$3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$	$10^3 - 10^2$
	Короткі	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^7$	$10^2 - 10$
Ультрависокі частоти	Ультракороткі	$3 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^8$	$10 - 1$
Надвисокі частоти	Дециметрові	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^9$	$1 - 10^{-1}$
	Сантиметрові	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{10}$	$10^{-1} - 10^{-2}$
	Міліметрові	$3 \cdot 10^{10} - 3 \cdot 10^{11}$	$10^{-2} - 10^{-3}$

Такий поділ на ділянки зумовлений тим, що з відстанню від джерела змінюються закономірності затухання електромагнітного поля. В ближній ділянці амплітуда електричної складової зменшується обернено пропорційно кубу відстані від джерела, а магнітної складової – обернено пропорційно квадрату відстані від джерела. В дальній ділянці амплітуда обох складових зменшується обернено пропорційно відстані від джерела. На характер розподілу електромагнітного поля впливає також обладнання, що знаходиться в приміщенні, металоконструкції будівель. Присутність людей також зумовлює деформацію електромагнітного поля. Тому оцінити інтенсивність електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону за допомогою теоретичних розрахунків дуже важко. Її потрібно вимірювати в кожному конкретному випадку.

Оскільки характер затухання складових електромагнітного поля в ближній зоні є різним, то в цій ділянці його інтенсивність оцінюється окремо напруженістю електричної $E(B/м)$ і магнітної $H(A/м)$ складових. У дальній ділянці інтенсивність електромагнітного поля визначається густиною потоку енергії – кількістю енергії, що припадає на одиницю поверхні $P(Bm/м^2)$. Між цими величинами існує взаємозв'язок:

$$\begin{aligned}E^2 (B / м) &= 74\,500 P \left(\frac{Bm}{м^2} \right); \\ H^2 (A / м) &= 0,00526 P \left(\frac{Bm}{м^2} \right).\end{aligned}\tag{4.30}$$

Густину потоку енергії на різних відстанях від точкового джерела R розраховують за потужністю випромінювання W :

$$P = \frac{W}{4\pi R^2}.\tag{4.31}$$

Вплив електромагнітних полів на організм людини залежить від частоти, інтенсивності, тривалості і характеру опромінення. Ефект від дії електромагнітних полів на біологічний об'єкт оцінюється кількістю електромагнітної енергії, яку він поглинає при знаходженні в полі

$$W_n = PS,\tag{4.32}$$

де W_n – поглинута енергія; P – густина потоку енергії і S – ефективна площа поверхні тіла людини.

В характері біологічної дії електромагнітних полів радіочастотного діапазону розрізняють *теплові і нетеплові* ефекти. Теплові ефекти можуть виражатися в інтегральному підвищенні температури тіла, або в локальному нагріванні окремих тканин і органів, які є дуже чутливими до нагрівання через недостатність кров'яних судин у них. При високих інтенсивностях опромінення виникають деструктивні зміни в тканинах і органах. Останнім часом щораз більшу увагу звертають на нетеплові ефекти біологічної дії електромагнітних полів, які виявляються у функціональному розбалансуванні нервової системи, що супроводжується підвищеною втомленістю, головними болями, сонливістю або порушенням сну.

Гігієнічне нормування електромагнітних випромінювань здійснюється як за інтенсивністю електромагнітного поля, так і за тривалістю його дії. Відповідні нормативи наведені в табл. 4.4–4.6. До електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону умовно відносять статичні електричні поля, для яких граничнодопустимий рівень становить 15 кВ/м.

Таблиця 4.4

Граничнодопустима напруженість електромагнітних полів
у діапазоні 60 кГц–300 МГц на робочих місцях

Діапазон частот	Електрична складова, В/м	Магнітна складова, А/м
60 кГц–3 МГц	50	
3 МГц–30 МГц	20	
30 МГц–50 МГц	10	
50 МГц–300 МГц	5	
60 кГц–1,5 МГц		5
30 МГц–50 МГц		0,3

Таблиця 4.5

Граничнодопустима тривалість перебування людини
в електричному полі промислової (50 Гц) частоти

Напруженість поля, кВ/м	Гранична тривалість перебування людини в електричному полі упродовж доби, хв (не більше)
5	Без обмежень
10	180
15	90
20	10
25	5

Таблиця 4.6

Граничнодопустимі густини потоку енергії електромагнітних полів
у діапазоні частот 300 МГц–300 ГГц

Густина потоку енергії, Вт/м ²	Граничнодопустима тривалість перебування людини в електромагнітному полі упродовж доби
< 0,1	Протягом усього робочого дня
0,1–1,0	Не більше як 2 год
0,1–10,0	Не більше як 20 хв

Зауважимо, що оцінка результатів наукових досліджень впливу електромагнітних випромінювань на функції живих організмів змушує констатувати, що механізм їхньої дії поки що остаточно не вивчений, а біофізичний фундамент для вирішення цих проблем – відсутній.

Основні заходи захисту від впливу електромагнітного випромінювання полягають у:

- ❑ зменшенні випромінювання в джерелі (впровадженням нових технологій);
- ❑ оптимальному розміщенні джерел випромінювання (захист відстанню);
- ❑ зменшенні часу перебування в електромагнітних полях (захист часом);
- ❑ екрануванні джерел випромінювання;
- ❑ використанні засобів індивідуального захисту.

Електромагнітне випромінювання оптичного діапазону охоплює інфрачервоне, ультрафіолетове, лазерне випромінювання і видиме світло.

Будь-який об'єкт, температура якого вища від абсолютного нуля, є джерелом інфрачервоного випромінювання. Згідно з законом Стефана-Больцмана, інтегральна густина випромінювання абсолютно чорного тіла є пропорційна четвертій степені його абсолютної температури:

$$q = KT^4, \quad (4.33)$$

де $K = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$ – універсальна постійна Стефана; T – абсолютна температура тіла K .

Із підвищенням температури змінюється спектральний склад випромінювання: чим вища температура, тим коротша довжина хвилі максимального випромінювання λ :

$$\lambda = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{T}. \quad (4.34)$$

Із зменшенням довжини хвилі інфрачервоного випромінювання зростає його здатність проникати у біологічну тканину і шкідливий вплив на організм людини. При тривалому, як і при систематичному опроміненні інфрачервоним випромінюванням, відбувається порушення теплового балансу в організмі, напружується серцево-судинна система, дихання, втрачаються через потовиділення потрібні солі. Порушення водно-солевого балансу викликає судомну хворобу, а порушення теплового балансу – теплову гіпотермію.

Інфрачервоне випромінювання з густиною потоку 280–560 Вт/м² мало впливає на організм людини і переноситься людиною тривалий час. Межа терпимості настає при густині потоку 560–1 050 Вт/м². За санітарними нормами граничнодопустима густина потоку інфрачервоного випромінювання становить 350 Вт/м².

Густину потоку інфрачервоного випромінювання у будь-якій точці визначають за формулами

$$q = \frac{0,91S \left[(0,01T_1)^4 - (0,01T_2)^4 \right]}{r^2} \quad \text{для } r \leq \sqrt{S}; \quad (4.35)$$

$$q = \frac{0,91\sqrt{S} \left[(0,01T_1)^4 - (0,01T_2)^4 \right]}{r} \quad \text{для } r > \sqrt{S}, \quad (4.36)$$

де q – густина потоку випромінювання, Вт/м²; S – площа поверхні, що випромінює, м²; T_1 – температура поверхні, що випромінює, К; T_2 – температура поверхні, що поглинає випромінювання, К (для шкіри людини $(0,01T_2)^4 = 85$); r – відстань від джерела випромінювання.

До головних заходів захисту відносять: захист часом, захист відстанню, екранування джерел випромінювання, індивідуальні засоби захисту. Захист часом передбачає обмеження часу перебування в ділянці впливу інфрачервоного випромінювання, згідно з табл. 4.7. Безпечну відстань від джерела інфрачервоного випромінювання розраховують за формулами (4.35) і (4.36), виходячи із граничнодопустимої величини густини потоку в 350 Вт/м².

Таблиця 4.7

Допустима тривалість перебування людини в зоні дії
інфрачервоного випромінювання

Густина потоку, Вт/м ²	280–560	560–1 050	1 050–1 500	1 600–2 100	2 100–2 800	2 800–3 500	>3 500
Час перебування, с	Не обмежено	180–300	40–60	20–30	12–24	8–10	2–5

Ультрафіолетове випромінювання охоплює електромагнітні випромінювання з довжиною хвиль від 400 до 100 нм, які поді-

ляються на три ділянки: ділянка А з довжиною хвиль 400–320 нм, ділянка В – 320–280 нм і ділянка С – 280–100 нм.

Інтенсивність ультрафіолетового випромінювання залежить від температури джерела випромінювання, відстані до джерела випромінювання, а також наявності в повітрі пилу, оксидів азоту, озону, які поглинають його і змінюють спектральні характеристики. Тому інтенсивність ультрафіолетового випромінювання важко розрахувати і її визначають експериментально.

Максимум канцерогенної активності ультрафіолетового випромінювання припадає на 295–300 нм, проте цей ефект простежують і в широкому діапазоні, а саме: 285–320 нм. Дуже чутливі до дії ультрафіолетового випромінювання очі (можливе виникнення катаракти, кон'юнктивів та фотоофтальмії).

Серед засобів захисту виділяють:

- ❑ конструкторсько-технологічні рішення, які знижують інтенсивність ультрафіолетового випромінювання;
- ❑ екранування джерел випромінювання;
- ❑ індивідуальні засоби захисту, зокрема очей.

Ділянка відкритого світла, яке створюється як природними, так і штучними джерелами, не викликає суттєвих шкідливих впливів на організм людини. Проте його тривала відсутність або недостатність призводить до порушення функціонального стану окремих органів і систем, в окремих випадках – до розвитку деяких патологічних станів (порушення біоритмів, змін у центральній нервовій системі та ін.).

До відносно нових потенційно шкідливих фізичних чинників відносять *лазерне випромінювання*. Найчастіше оптичні квантові генератори (лазери) генерують випромінювання з довжинами хвиль 0,49–0,51; 0,53; 0,63; 0,694; 1,06 і 10,6 мкм.

Біологічна дія лазерного випромінювання залежить від довжини хвилі, потужності випромінювання, часу експозиції, частоти світлових імпульсів, розмірів ділянки тіла, що опромінюється, а також анатомофізіологічних особливостей тканини (шкіра, очі).

Енергія лазерного випромінювання, яка поглинута біологічною тканиною, перетворюється в інші види енергії: теплову, меха-

нічну, енергію фотохімічних процесів і може зумовити різноманітні ефекти. Лазерне випромінювання найнебезпечніше для органів зору.

Гігієнічне нормування лазерного випромінювання ґрунтується на критеріях біологічної дії і граничнодопустимі рівні визначаються на основі мінімальних, порогових пошкоджень тканин, унаслідок опромінення. Безпечна густина потоку енергії неперервних випромінювань для рогівки ока за тривалості дії 0,15 с становить: для довжини хвилі 10,6 мкм – $2 \cdot 10^4$ Вт/м²; довжини хвиль 0,49 і 0,63 мкм – 0,1 Вт/м². Безпечні значення густини енергії імпульсивного випромінювання для рогівки ока наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.8

Допустима густина потоку енергії імпульсного випромінювання, Дж/м²
(у чисельнику подані значення в разі розходження променя
на виході з генератора в 20', а в знаменнику – в 1')

Довжина хвилі, мкм	Тривалість імпульсу, с	Густина потоку енергії при діаметрі зіниці ока, мм	
		8	4
0,53	$2 \cdot 10^{-8}$	$\frac{9 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{2 \cdot 10^{-2}}{2,5 \cdot 10^{-3}}$
0,69	10^{-3}	$\frac{7,5 \cdot 10^{-2}}{1,5 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{2 \cdot 10^{-1}}{2 \cdot 10^{-2}}$
	$4 \cdot 10^{-8}$	$\frac{1,5 \cdot 10^{-2}}{3,5 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{4 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}}$
1,06	10^{-3}	$\frac{6,5 \cdot 10^{-1}}{3 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{1,5}{4 \cdot 10^{-1}}$
	$4 \cdot 10^{-8}$	$\frac{2,5 \cdot 10^{-1}}{1 \cdot 10^{-1}}$	$\frac{5 \cdot 10^{-1}}{1 \cdot 10^{-1}}$

За ступенем небезпеки лазерного випромінювання лазери поділяють на чотири ступеня:

- лазери, випромінювання яких є безпечним для очей і шкіри;
- лазери, випромінювання яких є небезпечним при опроміненні очей прямим або дзеркально відбитим випромінюванням;
- лазери, випромінювання яких є небезпечним при опроміненні очей прямим, дзеркально відбитим, а також ди-

фузійно відбитим випромінюванням на відстані до 10 см від поверхні і (або) при опроміненні шкіри прямим або дзеркально відбитим випромінюванням;

- лазери, випромінювання яких є небезпечним при опроміненні шкіри дифузійно відбитим випромінюванням на відстані до 10 см від поверхні.

Ця класифікація проведена за первинними та вторинними біологічними ефектами, які залежать від довжини хвилі та енергії випромінювання, що генерується лазерами.

Діапазон іонізуючих випромінювань складається із рентгенівського випромінювання та γ -випромінювання. Будь-яке випромінювання, яке, взаємодіючи із середовищем, призводить до утворення електричних зарядів різних знаків, називають *іонізуючим*. Крім фотонного іонізуючого випромінювання, до якого входять γ -випромінювання і рентгенівське випромінювання (сукупність характеристичного і гальмівного випромінювання, які утворюються при роботі рентгенівських установок), існує корпускулярне іонізуюче випромінювання – потік елементарних частинок з масою спокою, відмінною від нуля, які утворюються при радіоактивному розкладі та ядерних перетвореннях. Оскільки їхня дія на живі організми має спільні закономірності, то характеристику фотонних іонізуючих випромінювань розглянемо під час аналізу ядерних чинників.

4.2.5. Ядерні чинники. До ядерних чинників відносять природні та штучні радіонукліди, які володіють запасом ядерної енергії. Самовільний розклад радіонуклідів супроводжується корпускулярним та фотонним випромінюванням. До корпускулярного випромінювання відноситься: α -, β -частинки, нейтрони, протони та ін. Фотонне випромінювання складається із γ -променів.

α -частинки – це ядра гелію, що несуть позитивний заряд величиною в дві одиниці елементарного заряду. Енергія α -частинок, що випускаються різними радіонуклідами, знаходиться в межах від 2 до 8 МеВ. Для одного і того ж радіонукліда вона завжди є постійною.

β -частинки – це електрони або позитрони. Їхня енергія при розкладі одного і того ж радіонукліда є різною, вона змінюється від 0 до деякої максимальної величини, яка для β -радіонуклідів досягає до 3,0–3,5 МеВ. Для енергетичної характеристики потоку β -частинок використовують середню енергію, яка приблизно дорівнює одній третій від максимальної величини.

Нейтрони – нейтральні елементарні частинки, які за енергією поділяють на чотири групи: *теплові* з енергією до 0,5 кеВ, *проміжні* – 0,5–200 кеВ, *швидкі* – 0,2–20 МеВ і *релятивістські* – понад 20 МеВ. Нейтрони не мають електричного заряду, тому вони взаємодіють тільки з ядрами атомів і лише після цього виникають вторинні заряджені частинки або γ -випромінювання.

Енергія γ -випромінювання радіонуклідів виявлена в межах від 0,02 до 8,8 МеВ. Його взаємодія з атомами зумовлює утворення заряджених частинок.

Іонізуюче випромінювання характеризується іонізуючою та проникною здатністю. Іонізуюча здатність визначається числом пар іонів, які створюються частинкою в одиниці об'єму (маси) середовища чи на одиниці довжини шляху. В повітрі α -частинки здатні утворювати залежно від їхньої енергії від 25 до 60 тис. пар іонів на шляху в 1 см, β -частинки в цих же умовах – близько 100 пар іонів. Проникна здатність оцінюється шляхом, який проходить частинка у речовині до повної віддачі енергії. В повітрі α -частинки можуть пройти залежно від їхньої енергії декілька сантиметрів, а в біологічній тканині – десятки мікрометрів. Максимальний пробіг β -частинок у повітрі дорівнює декільком метрам, а в біологічній тканині – декільком сантиметрам. Найбільшою проникною здатністю володіє γ -випромінювання. Воно, проходячи через речовину, послаблюється згідно з експоненціальним законом з коефіцієнтом послаблення μ , який залежить від енергії випромінювання і речовини. Коефіцієнт послаблення γ -випромінювання з енергією від 1 до 6 МеВ для повітря і води виявлено в межах 0,02–0,08 см⁻¹, тканин організму – 0,03–0,07, цегли – 0,05–0,11, заліза – 0,23–0,47, свинцю – 0,49–0,77 см⁻¹.

Дія іонізуючого випромінювання на речовину (біологічну тканину) виявляється в іонізації та збудженні атомів і молекул, які призводять до порушення біологічних процесів. Кількісною мірою цієї дії є поглинута доза – середня енергія, яка передана випромінюванням одиниці маси речовини. Вона вимірюється в Греях ($1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$).

Біологічні ефекти, викликані іонізуючим випромінюванням, залежать не лише від кількості поглинутої енергії, а й від її лінійного розподілу вздовж шляху пробігу. Чим більша лінійна густина іонізації, тим більший ступінь біологічного пошкодження. Щоб урахувати цей вплив, введено поняття *еквівалентної дози*, яка дорівнює поглинутій дозі, помноженій на безрозмірний зважувальний коефіцієнт. Величина цього коефіцієнта залежить від виду випромінювання та його енергії. Для γ - та β -випромінювання він дорівнює одиниці, для нейтронів з енергією менш як 20 кеВ – 3, для нейтронів з енергією менш як 10 МеВ – 10, для α -частинок з енергією менш як 20 МеВ – 20. Одиницею виміру еквівалентної дози є Зіверт, який дорівнює енергії 1 Дж, що передана γ -випромінюванням речовині масою 1 кг.

Біологічні ефекти від дії іонізуючого випромінювання умовно поділяють на:

- ❑ первинні фізико-хімічні процеси, які виникають у живих клітинах і навколо них (серед них найважливішим є радіоліз води, якої в організмі є близько 75%, з утворенням дуже активних вільних радикалів OH' і H' та руйнування молекул білків);
- ❑ порушення функції всього організму внаслідок перебігу первинних процесів, які починаються із змін у живих клітинах, а саме: пошкодження механізму мітоза (поділу) і хромосомного апарату клітин.

Зауважимо, що безпосередня передача енергії тканинам тіла і пряма іонізація не можуть пояснити шкідливої дії опромінення іонізуючим випромінюванням. Наприклад, у разі абсолютної смертельної дози опромінення, яка дорівнює 6 Гр на все тіло, в 1 см^3 біологічної тканини утворюється близько 10^{15} іонів, що становить лише одну іонізовану молекулу води на 10 млн молекул.

У подальшому під впливом первинних процесів у клітинах виникають функціональні зміни, які зумовлені вже біологічними законами життя і смерті клітин. Класифікація можливих наслідків опромінення людей показана на рис. 4.10. Розрізняють *соматичні* та *генетичні* ефекти. *Соматичні* ефекти – це наслідки дії опромінення на саму особу, а *генетичні* (вроджена спотвореність) – на її потомство.

РАДІАЦІЙНІ ЕФЕКТИ ОПРОМІНЕННЯ ЛЮДЕЙ

Соматичні		Генетичні
Нестохастичні	Стохастичні	
Гостра променева хвороба	Скорочення тривалості життя	Домінантні генні мутації
Хронічна променева хвороба	Лейкози (злоякісні зміни кровотворних клітин)	Рецесивні генні мутації
Локальні променеві пошкодження (катаракта, променеві опіки, пошкодження статевих клітин)	Пухлини різних органів та клітин	Хромосомні аберації

Рис. 4.10. Класифікація можливих наслідків опромінення людей

Соматичні ефекти бувають *нестохастичні* і *стохастичні*; генетичні ефекти відносять до стохастичних. Нестохастичні ефекти мають порогову дозу опромінення, понад яку вони виникають і ступінь їхньої важкості є прямо пропорційний дозі опромінення. Стохастичні ефекти умовно не мають порогової дози опромінення, але ймовірність їх виникнення також залежить від дози опромінення.

Для обчислення доз опромінення та вибору засобів захисту від іонізуючого випромінювання використовують потужність еквівалентної дози. *Потужністю еквівалентної дози* називають еквівалентну дозу, віднесену до одиниці часу, яка вимірюється в Зв/с.

Джерела іонізуючого випромінювання бувають як *природні*, так і *антропогенні*.

До *природних джерел* відносять космічне випромінювання та природні радіонукліди, яких на Землі є понад 60.

Космічне випромінювання залежить від сонячної активності, географічного розміщення об'єкта і збільшується з висотою над рівнем моря (див. табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Потужність еквівалентної дози космічного випромінювання
на середніх широтах (нЗв/с) залежно від висоти

Висота, км									
0	4	6	8	10	12	14	16	18	20
0,01	0,055	0,142	0,375	0,80	1,369	2,1	2,694	3,233	3,542

Природні радіонукліди поділяють на *первинні* та *космогенні*. До первинних відносять радіонукліди уранового та торієвого рядів і радіонукліди довготривалого існування інших елементів (^{40}K , ^{87}Rb та ін.). Космогенні радіонукліди утворюються головно в атмосфері і до них відносять ^3H , ^{14}C , ^7Be , ^{22}Na та інші (всього 14). Вміст деяких природних радіонуклідів в об'єктах доквілля поданий у табл. 4.10.

Антропогенні джерела іонізуючого випромінювання створені людиною в процесі її діяльності. Серед них:

- ❑ викиди від підприємств ядерної енергетики в умовах нормальної роботи, починаючи від добування уранової руди,

перетворення її в ядерне паливо до переробки використаного ядерного пального та його поховання;

- ❑ техногенно-підсилені джерела природного походження, які можуть виникати внаслідок використання мінеральної сировини, будівельних матеріалів, мінеральних добрив, що містять природні радіонукліди, внаслідок їх концентрування, а також концентрування радону в закритих приміщеннях;
- ❑ медична апаратура, в якій використовується іонізуюче випромінювання;
- ❑ радіаційні аварії.

Таблиця 4.10

Вміст деяких природних радіонуклідів у воді (В), біосфері (Б), повітрі (П), ґрунті (Г)

Радіонуклід	Об'ємна чи питома радіоактивність
^3H	200–900 Бк/м ³ (В)
^7Be	0,003 Бк/м ³ (П)
^{14}C	0,007 Бк/м ³ (В)
^{40}K	227 Бк/кг (Б)
^{87}Rb	60 Бк/кг (Б)
^{226}Ra	100–700 Бк/кг (Г)
^{222}Rn	629 Бк/кг (В)
^{238}U	948 Бк/кг (Г)
^{232}Th	0,1–2,7 Бк/кг (В)
	3,4–48 Бк/кг (Г)
	0,1–10 Бк/м ³ (П, поза будівлями)
	5–25 Бк/м ³ (П, у будівлях)
	1,2 Бк/м ³ (П)
	0,24–2,6 Бк/кг (В)
	10–50 Бк/кг (Г)
	7–10 Бк/кг (Г)

Система радіаційної безпеки вирішує два завдання: зниження рівня опромінення персоналу та населення до встановлених меж на основі комплексу проектно-технічних та санітарно-гігієнічних заходів і створення системи контролю за параметрами радіаційної обстановки, на основі яких оцінюють рівень опромінення персоналу і населення та радіоактивного забруднення об'єктів довкілля.

Забезпечення радіаційної безпеки ґрунтується на таких трьох принципах:

- ❑ будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна відбуватися, якщо вона не приносить більшої користі опроміненим особам або суспільству зокрема порівняно зі шкодою, яку вона завдає;
- ❑ рівні опромінення для всіх видів практичної діяльності не повинні перевищувати встановлені ліміти доз опромінення;
- ❑ рівні індивідуальних доз опромінення та/або кількість опромінюваних осіб повинні бути настільки низькими, наскільки це можна досягнути з урахуванням соціально-економічних чинників.

Усі заходи щодо забезпечування радіаційної безпеки регламентуються нормами радіаційної безпеки України – НРБУ–97.

НРБУ–97 поширюються на випадки опромінення людей іонізуючим випромінюванням в умовах:

- ❑ нормальної експлуатації джерел іонізуючих випромінювань;
- ❑ медичної практики;
- ❑ радіаційних аварій;
- ❑ опромінення техногенно-підсиленими джерелами природного походження.

Відповідно до умов опромінення, розроблено радіаційно-гігієнічні регламенти, які передбачають:

- ❑ контроль за додержанням опромінення персоналу та населення на прийнятному рівні;
- ❑ обмеження опромінення людини від медичних джерел;
- ❑ відвернення дози опромінення населення в умовах радіаційних аварій внаслідок втручання;
- ❑ відвернення дози опромінення населення від техногенно-підсилених джерел природного походження внаслідок втручання.

Норми радіаційної безпеки визначають три категорії осіб, які можуть зазнати опромінення:

- категорія А (персонал) – особи, які постійно або тимчасово безпосередньо працюють з джерелами іонізуючих випромінювань;
- категорія Б (персонал) – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць можуть зазнавати додаткове опромінення;
- категорія В – все населення.

Для цих категорій встановлено річний ліміт ефективної дози опромінення: категорія А – 20 мЗв, категорія Б – 2 мЗв і категорія В – 1 мЗв. Ці норми також рекомендують, щоб річна ефективна доза опромінення від медичних джерел не перевищувала 1 мЗв. Для порівняння приймаємо, що річна ефективна доза опромінення від природних джерел іонізуючих випромінювань перебуває в межах від 0,7 до 2 мЗв, від перегляду кольорового телевізора на відстані 2,5 м по 2 год в день – до 2 мЗв.

Еквівалентна доза, віднесена до одиниці часу, називається *потужністю еквівалентної дози*. Потужність еквівалентної дози використовують для розрахунку доз опромінення і вибору засобів захисту від іонізуючого випромінювання. Вона вимірюється в Дж/кг·с. Залежно від умов опромінення, характеру і місцезнаходження джерела випромінювання використовуються різні засоби і методи захисту, а саме: захист часом (зменшення часу опромінення), захист відстанню (збільшення відстані до джерела випромінювання), екранування джерел випромінювання, індивідуальні засоби захисту (халати, капелюшки, гумові рукавиці, тапочки і засоби захисту органів дихання), радіопротектори (речовини, які підвищують стійкість організму до опромінення). Найчастіше як метод захисту від іонізуючого випромінювання використовують екранування джерел випромінювання. Суть цього методу полягає у послабленні потужності доз випромінювання під час його проходження через шар речовин певної товщини.

4.2.6. Хімічні чинники. Хімічні чинники мають запас хімічної енергії і володіють високою хімічною спорідненістю до тканин організму. До них відносять різноманітні речовини, які об'єднують

під загальною назвою *шкідливі речовини*. *Шкідливі речовини* – це речовини, які, контактуючи з організмом людини, можуть викликати травми, захворювання чи інші відхилення в стані здоров'я, що виявляються сучасними методами діагностики як у процесі роботи, так і в подальші роки життя нинішнього та наступних поколінь.

Під дією шкідливих речовин, які проникають в організм людини через органи дихання, травлення і шкіру, відбуваються різні порушення, зокрема гострі та хронічні отруєння.

Гострі отруєння часто бувають у результаті аварій та грубих порушень техніки безпеки і характеризуються короткочасною дією відносно великої кількості шкідливих речовин та яскравим типовим проявом безпосередньо в момент дії або через деякий невеликий проміжок часу.

Хронічне отруєння виникає поступово при тривалій дії речовин, які проникають в організм у відносно невеликих кількостях. Воно розвивається внаслідок накопичення самої шкідливої речовини в організмі (матеріальна кумуляція) і збільшення викликаних нею змін в організмі (функціональна кумуляція). При хронічному і гострому отруєнні однією і тією ж речовиною можуть бути уражені різні органи і системи організму. Наприклад, при гострому отруєнні бензолом вражається, головню, центральна нервова система і простежують наркотичну дію, а при хронічному – систему кровотворення.

При будь-якій формі отруєння інтенсивність дії шкідливої речовини визначається ступенем її фізіологічної активності – *токсичністю*. Токсичність шкідливих речовин виявляється здебільшого в хімічній взаємодії між ними і ферментами (каталізаторами біохімічних реакцій в організмі). Ця взаємодія призводить до гальмування або припинення низки життєвих функцій організму. Повна інактивація ферментів спричинює загальне ураження організму і, можливо, смерть.

Жодний біохімічний процес в організмі не відбувається без участі ферментів: наприклад, внутріклітинне дихання (поглинання кисню і виділення діоксиду вуглецю) забезпечується групою ферментів, які називаються оксидазами, засвоєнню білків сприяють протенази, жирів – ліпази, вуглеводів – кінази та фосфатази. Всього

в організмі діє до 1 000 різних ферментних систем. Для всіх каталітичних процесів є характерною дуже мала кількість каталізатора і абсолютна кількість кожного фермента в клітині є дуже мізерною. Тому для їхнього блокування достатньо невеликих кількостей шкідливих речовин.

За характером токсичної дії на організм, шкідливі речовини поділяють на кілька груп: нервові, подразнювальні, припікальні, ферментні, печінкові, кров'яні, мутагенні, алергенні та канцерогенні (див. табл. 4.11). Такий поділ є умовним, оскільки не враховує багатьох побічних ефектів, однак він дає можливість орієнтуватися в характері дії шкідливих речовин.

Таблиця 4.11

Класифікація шкідливих речовин за характером шкідливої дії

Група	Типові представники	Ознаки отруєння та шкідливої дії
Нервові	Вуглеводні, насичені спирти, анілін, сірководень, тетраетилсвинець, аміак, фосфорорганічні сполуки та ін.	Розклад функції нервової системи, судоми, параліч
Подразнювальні	Хлор, аміак, діоксид сірки, оксиди азоту, ароматичні вуглеводні, тумани кислот та ін.	Ураження верхніх та глибоких дихальних шляхів
Припікальні	Кислоти, луги, ангідриди та ін.	Ураження шкіри, утворення виразок
Ферментні	Синильна кислота та її солі, арсен та його сполуки, солі ртуті, фосфорорганічні сполуки та ін.	Порушення структури ферментів
Печінкові	Хлоровані вуглеводні, бромбензол, фосфор, селен та ін.	Структурна зміна печінкової тканини
Кров'яні	Оксид вуглецю (чадний газ), гомологи бензолу, ароматичні смоли, свинець і його неорганічні сполуки та ін.	Інгібують ферменти, що активують кисень
Мутагенні	Етиленімін, оксиди етилену, сполуки свинцю, ртуті та ін.	Вплив на генетичний апарат клітини
Алергенні	Деякі сполуки нікелю, похідні піридину, алкалоїди та ін.	Зміна реакційної здатності організму
Канцерогенні	Кам'яновугільна смола, бенз- α -пірен, ароматичні аміни, азо- і діазосполуки та ін.	Утворення злоякісних пухлин

За токсичністю шкідливі речовини поділяють на чотири класи небезпеки:

- 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні;
- 2-й клас – речовини дуже небезпечні;
- 3-й клас – речовини помірно небезпечні;
- 4-й клас – речовини мало небезпечні.

Клас небезпеки шкідливої речовини визначається за низкою показників, для кожного з яких встановлені нормативні значення (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Класифікація речовин за ступенем їх небезпеки

Показники	Норми показників для класу небезпеки			
	1	2	3	4
ГДК, мг/м ³	< 0,1	0,1–1,0	1,1–10	> 10,0
ССДШЛ, мг/кг	< 15	15–150	151–5 000	> 5 000
ССДШК, мг/кг	< 100	100–500	501–2 500	> 2 500
СКК, мг/м ³	< 500	500–5 000	5 001–50 000	> 50 000
КМЮ	> 300	300–30	29–3	< 3
ЗГД	< 6	6–18	18,1–54	> 54
ЗХД	> 10	10–5	4,9–2,5	< 2,5

Показники, за якими оцінюють шкідливу дію речовини

1. Граничнодопустима концентрація шкідливої речовини у повітрі робочої зони (ГДК) – це така концентрація, яка при щоденній роботі (окрім вихідних днів) протягом 8 год чи іншої тривалості, але не більше як 41 год на тиждень, упродовж усього робочого стажу не може зумовити відхилень у стані здоров'я, які виявляються сучасними методами діагностики як в період праці, так і в подальші роки та в наступних поколіннях.

2. Середня смертельна доза у випадку введення в шлунок (ССДШЛ) – це така доза речовини, яка викликає смерть у 50% тварин при одноразовому введенні в шлунок.

3. Середня смертельна доза у разі нанесення на шкіру (ССДШК) – це така доза речовини, яка викликає смерть у 50% тварин при одноразовому нанесенні на шкіру.

4. Середня смертельна концентрація у повітрі (ССК) – це така концентрація речовини, яка викликає смерть у 50% тварин при 2–4-годинній інгаляційній дії.

5. Коефіцієнт можливості інгаляційного отруєння (КМІО) – відношення максимально можливої концентрації речовини у повітрі при 20°C, яка зумовлюється леткістю речовин, до середньої смертельної концентрації.

6. Зона гострої дії (ЗГД) – відношення середньої смертельної концентрації речовини до мінімальної (порогової) концентрації, що викликає зміни біологічних показників на рівні всього організму, які виходять за межі фізіологічних реакцій.

7. Зона хронічної дії (ЗХД) – відношення (порогової) концентрації, що викликає зміни біологічних показників на рівні всього організму, які виходять за межі фізіологічних реакцій до мінімальної концентрації, що викликає шкоду для здоров'я у хронічному експерименті по 4 год 5 разів на тиждень упродовж 4 місяців.

Серед цих показників найбільше практичне значення для характеристики токсичності шкідливих речовин мають ГДК у повітрі робочої зони, оскільки найчастіше виробничі отруєння трапляються внаслідок того, що шкідливі речовини надходять в організм людини через органи дихання. Велика площа поверхні легень і значна швидкість проникнення шкідливих речовин у кров сприяють інгаляційному отруєнню.

Сьогодні на ГДК встановлено більше як для 1 400 речовин. Для найпоширеніших вони наведені в табл. 4.13.

Таблиця 4.13

Граничнодопустимі концентрації шкідливих речовин
у повітрі робочої зони

Речовина	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки	Агрегатний стан *
1	2	3	4
Оксиди азоту у перерахунку на NO ₂	5	3	п
Аміак	20	4	п
Анілін	0,1	2	п
Ацетон	200	4	п
Бензол	5	2	п

Закінчення табл. 4.13

1	2	3	4
Берилій і його сполуки у перерахунку на Ве	0,001	1	a
Борна кислота	10	3	n+a
Дихлоретан	10	2	n
Йод	1	2	n
Оксид кадмію	0,1	1	a
Кобальт і його оксид	0,5	2	a
Марганець у перерахунку на MnO ₂	0,3	2	a
Метанол	5	3	n
Оксиди арсену	0,3	2	a
Нікель та його сполуки в перерахунку на Ni	0,5	2	a
Озон	0,1	1	n
Ртуть металічна	0,01	1	n
Свинець та його неорганічні сполуки	0,01	1	a
Сірчана кислота	1	2	a
Оксиди сірки IV/VI	10/1	3/2	n/a
Соляна кислота	5	2	n
Тетраетилсвинець	0,005	1	n
Толуол	50	3	n
Вуглеводні насичені	300	4	n
Оцтова кислота	5	3	n
Формальдегід	0,5	2	n
Хлор	1	2	n
Оксиди хрому III/VI	1/0,01	2/1	a/n
Оксид цинку	6	3	a
Луги в перерахунку на NaOH	0,5	2	a

* n – пара або газ; a – аерозоль.

Крім органів дихання, шкідливі речовини потрапляють в організм через шкіру не тільки при її забрудненні, а й за наявності газів і пари у повітрі, оскільки шкіра також бере участь у диханні. Шкідливі речовини також розчиняються у поті та жировому покриві шкіри, а потім проникають у кров.

Шкідливі речовини потрапляють у травний тракт і при порушенні правил особистої гігієни, прийманні їжі, питті та курінні.

У виробничих умовах ізолювана дія шкідливих речовин трапляється зрідка, звичайно працівники підпадають під дію декількох шкідливих речовин одночасно. Сукупна дія шкідливих речовин

може бути однонаправленою і незалежною. При однонаправленій дії компоненти суміші шкідливих речовин діють на одні і ті ж системи і органи. У цьому випадку сумарний ефект дії суміші рівний сумі ефектів дії окремих компонентів. Однак при такій дії трапляються випадки відхилення від аддитивності, а саме:

- ❑ синергізм – підсилення токсичної дії компонентів у суміші;
- ❑ антагонізм – послаблення токсичної дії компонентів у суміші.

Якщо компоненти суміші шкідливих речовин діють на різні органи та системи організму, то відбувається їх незалежна дія і токсичні ефекти є незалежними.

До головних заходів безпеки відносять:

- ❑ зниження концентрації шкідливих речовин до величин, нижчих за ГДК;
- ❑ використання індивідуальних засобів захисту (ізолюючі костюми, спецодяг, спецвзуття, засоби захисту органів дихання, шкіри, очей, рук тощо).

Врешті треба зауважити, що сьогодні впроваджуються нові різноманітні хімічні сполуки, речовини, матеріали, властивості яких щодо їх безпечного застосування остаточно ще не вивчені. Робота з такими матеріалами потребує особливої обережності.

4.2.7. Біологічні чинники. *Біологічні чинники охоплюють сукупність макро- та мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності.*

Незчисленна кількість мікробів незримо супроводжує людину впродовж усього її життя і втручається в нього, приносячи то користь, то шкоду. Мікробіологічний чинник сьогодні відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки людства, тому роботи з біологічним матеріалом різного ступеня патогенності повинні чітко регламентуватися, щоб забезпечити особисту та суспільну безпеку.

Всі мікроорганізми за рівнем патогенності поділяють на 4 групи: від першої, яка охоплює найнебезпечніші, до четвертої, до якої відносять найменш небезпечні.

До патогенних для людини мікроорганізмів відносять:

- ❑ бактерії чуми (I – римська цифра вказує групу патогенності), сибірки (II), холери (II), лептоспірозу (II), правцю

- (III), дифтерії (III), туберкульозу (III), менінгітут (III), черевного тифу (III), дизентерії (III), сифілісу (III), сепсису (IV) та ін.;
- ❑ рикетсії епідемічного висипного тифу (II), гарячки Ку (II), кліщового висипного тифу (III) та ін.;
 - ❑ гриби кандидозу (III), різнокольорового лишая (III) та ін.;
 - ❑ віруси натуральної віспи людини (I), хронічного енцефаліту і енцефалопатії (II), сказу (II), ящуру (II), СНІДу (II), грипу (III), поліомієліту (III), герпесу (III) та ін.;
 - ❑ хламідії пневмонії (III) та ін.;
 - ❑ отрути біологічного походження: ботулічні токсини (II), правцевий токсин (II), мікотоксини (III), дифтерійний токсин (III), стафілококові токсини (III), зміїні отрути (III) та ін.

Джерелом хвороб людини та тварин, які спричиняють мікроорганізми I–IV груп патогенності можуть бути інфіковані: людина, теплокровна тварина, переносники та об'єкти довкілля, в яких є умови для масового розмноження мікроорганізмів.

Для дезінфекції (знищення патогенних мікроорганізмів) використовують різні методи залежно від їхнього виду. Серед них: кип'ятіння; прокалювання; спалювання; оброблення розчинами речовин, що містять активний хлор; аміачними розчинами, розчинами соди, їдкого натрію; розчинами формаліну та його парою; водяною насиченою парою під надмірним тиском; ультрафіолетовим випромінюванням; етиловим спиртом (70°).

Особливу тривогу викликає розповсюдження трансгенних продуктів, одержаних шляхом генної інженерії. У природі немає нічого постійного, все змінюється, в тому числі і жива матерія. Але такі зміни відбуваються внаслідок довготривалого послідовного добору і поступової модифікації. Спроби людини поєднати в одному часто несумісні речі можуть поставити людство на межу виживання. Потяг людини до пізнання довкілля та його перетворювання, зокрема в галузі живої матерії, не зупинити. Генну інженерію треба надалі розвивати, але з використанням її результатів бажано ще зачекати.

4.2.8. Сукупна дія небезпечних та шкідливих чинників. Розглянуті вище небезпечні та шкідливі чинники аналізувалися з точки зору впливу на здоров'я людини у випадках, коли вони діють на організм людини окремо один від одного. Запровадження новітніх інформаційних технологій у діяльність сучасних підприємств, науково-дослідних установ, підприємницьких структур, закладів освіти висуває низку складних питань щодо визначення ступеня небезпеки, шкідливості, важкості та напруженості праці в умовах сукупної дії декількох небезпечних та шкідливих чинників. Проаналізувати всі можливі комбінації сукупної дії небезпечних та шкідливих чинників немає змоги. В теперішніх умовах невід'ємним елементом середовища перебування людини, яка проводить у виробничих, житлових та громадських приміщеннях приблизно 50% часу, є персональний комп'ютер, зокрема один із його елементів – відеодисплейний термінал. Рівень використання відеодисплейних терміналів у трудовому процесі зростає і зростатиме й далі.

У разі впливу на організм декількох чинників сукупний ефект може мати адитивний характер, тобто бути рівним сумі впливів окремих чинників. Інколи сукупний вплив є меншим, ніж адитивний, але особливу небезпеку викликає підсилення впливу одних чинників іншими. Нині проводять інтенсивні дослідження з питань комплексної дії шкідливих чинників виробничого середовища, проте через великі труднощі їх вирішення вони далекі від завершення. Надзвичайну тривогу дослідників викликає можлива наявність кумулюючого ефекту, для виявлення якого потрібний тривалий час. Особливо це стосується користувачів відеодисплейних терміналів, під час роботи з якими на організм людини діє комплекс слабо-виражених шкідливостей.

Основним джерелом шкідливостей під час роботи з персональним комп'ютером є відеодисплейний термінал на основі електроннопроменевої трубки. Більш безпечні відеодисплейні термінали з плазмовими та рідинно-кристалічними екранами не мають ще такого поширення, як відеодисплейні термінали на основі електроннопроменевої трубки, тому електроннопроменеві трубки ще тривалий час знаходитимуться в експлуатації.

Шкідливості, які супроводжують роботу відеодисплейних терміналів на основі електроннопроменевої трубки і безпосередньо діють на організм людини, наведені в табл. 4.14.

Крім безпосереднього впливу на організм людини, робота відеодисплейних терміналів має ще й опосередкований вплив, а саме: зумовлює порушення балансу аероіонів у зоні дихання користувача і призводить до зменшення кількості від'ємних аероіонів, які мають суттєвий вплив на імунну систему організму. Пониження імунітету людини внаслідок зменшення негативних аероіонів зумовлює інші порушення в організмі, зокрема й тих, що не пов'язані з роботою на персональному комп'ютері.

Таблиця 4.14

Шкідливості, які супроводжують роботу відеодисплейних терміналів
на основі електроннопроменевої трубки

Вид випромінювання	Діапазон	Інтенсивність дії	
		фактична	граничнодопустима
1	2	3	4
1. Рентгенівське випромінювання	>1,2 кеВ	не виявлено	5–10 МеВ/год
2. Оптичне випромінювання			
2.1. Ультрафіолетове випромінювання	315–400 нм	0,1 Вт/м ²	10 Вт/м ²
2.2. Видиме світло	400–700 нм	2,5 Вт/м ² (125 Кд/м ²)	200 Вт/м ² (10 000 Кд/м ²)
2.3. Інфрачервоне випромінювання			
2.3.1. Близьке	700–1 050 нм	0,05 Вт/м ²	100 Вт/м ²
2.3.2. Дальнє	1 050 нм–1 мм	4 Вт/м ²	10–100 Вт/м ²
3. Електромагнітні випромінювання та поля радіочастотного діапазону			
3.1. Діапазон високих та надвисоких частот	3–300 МГц		
3.1.1. Електричне поле		0,5 В/м	100 В/м
3.1.2. Магнітне поле		0,0002 А/м	0,2 А/м
3.2. Діапазон середніх та низьких частот	3 кГц–3 МГц		

Закінчення табл. 4.14

1	2	3	4
3.2.1. Електричне поле	0–3 кГц	150 В/м	600 В/м
3.2.2. Магнітне поле		0,1 А/м	1,6 А/м
3.3. Діапазон наднизьких частот			
3.3.1. Електричне поле		6,5 В/м	2–10 кВ/м
3.3.2. Магнітне поле		0,2 А/м	–
4. Електростатичне поле		15 кВ/м	20–60 кВ/м

Негативний вплив на організм людини виникає через неадекватне (надто велике або надто мале) навантаження на окремі системи організму. Такі перекося у напруженні різних систем організму, що трапляються під час роботи з відеодисплейним терміналом, зокрема, значна напруженість зорового аналізатора і довготривале малорухоме положення перед екраном, не тільки не зменшують загального напруження, а навпаки, призводять до його посилення і прояву стресових реакцій.

Поки що серед дослідників немає чіткої відповіді про рівень шкідливого впливу роботи з відеодисплейними терміналами на організм людини, але однозначно встановлено, що найбільшому ризику виникнення різноманітних порушень піддаються:

- ❑ органи зору;
- ❑ м'язово-скелетна система;
- ❑ репродуктивна функція у жінок;
- ❑ нервово-психічна діяльність.

Інші системи та органи людини зазнають меншого негативного впливу чинників, які супроводжують роботу відеодисплейних терміналів.

Якщо формально порівняти фактичні та граничнодопустимі інтенсивності дії шкідливих чинників, які наведені в табл. 4.14, доходимо висновку, що шкідливий вплив під час роботи з відеодисплейними терміналами відсутній. Проте є декілька застережень щодо цього позитивного висновку.

1. Граничнодопустимі рівні дії шкідливих та небезпечних чинників величини досить умовні. Важко собі уявити, що для граничнодопустимого рівня в 100 одиниць при інтенсивності дії чинника в

101 одиницю шкідливий вплив є наявним, а при 99 одиниць його немає. Дані табл. 4.14 підтверджують цю думку, оскільки граничнодопустимі рівні деяких чинників коливаються в широких межах, тому що результати наукових досліджень є неоднозначними.

2. Умова безпечності середовища при сукупній дії декількох чинників, що задається співвідношенням,

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Phi P_i}{ГДР_i} \leq 1, \quad (4.37)$$

де $ГДР_i$, ΦP_i – граничнодопустимі та фактичні рівні інтенсивності i -го чинника відповідно, не виконується.

3. Відсутність кумулюючого ефекту, зокрема при сукупній дії декількох чинників, не доведена.

4. Граничнодопустимі рівні дії шкідливих чинників встановлені для випадків рівномірного опромінення всього організму, а під час роботи з відеодисплейним терміналом опромінюється верхня частина тіла неоднорідними в просторі випромінюваннями.

Ці застереження при позитивному висновку стосовно шкідливого впливу змушують розглядати роботу з відеодисплейними терміналами як таку, шкідливий вплив якої остаточно не встановлений. У цьому випадку сукупність чинників, що супроводжують їх роботу, треба вважати як найбільш небезпечну і вжити відповідних заходів щодо зменшення їх шкідливого впливу.

Заходи, спрямовані на зменшення шкідливого впливу відеодисплейних терміналів, охоплюють:

- ❑ організаційно-конструкторські рішення;
- ❑ нормування освітлення приміщень та робочих місць;
- ❑ нормування параметрів мікроклімату приміщень;
- ❑ нормування рівнів шуму в приміщеннях;
- ❑ режими праці та відпочинку користувачів;
- ❑ гігієнічні та ергономічні вимоги до відеодисплейних терміналів.

Організаційно-конструкторські рішення передбачають, що площа одного робочого місця з відеодисплейним терміналом повинна бути не менше як 6 м^2 , а об'єм – не менше як 20 м^3 . Робочі місця з відеодисплейними терміналами потрібно розташовувати на

відстані від стіни з вікнами не менше як 1,5 м, а від інших стін – не менше як 1 м. Відстані між боковими поверхнями відеодисплейних терміналів повинні бути не менші як 1,2 м, а від тильного боку одного до екрану другого – не менше як 2,5 м. Щоб у поле зору користувача не потрапляли вікна, відеодисплейні термінали розміщують під кутом 90–105° до площини зовнішньої стіни.

Висота робочої поверхні стола встановлюється у межах 680–800 мм, а ширина і глибина повинні забезпечувати виконання операцій у зоні досяжності моторного поля, а саме: ширина – 600–1 400 мм і глибина – 800–1 000 мм. Стілець для сидіння має бути оснащеним підйомно-поворотним пристроєм для регулювання висоти сидіння в межах 400–500 мм та спинки сидіння, а також кута їх нахилу.

Висота поверхні сидіння визначається висотою підколінної ямки над підлогою, виміряної у положенні сидючи при куті згинання коліна 90°. Співвідношення між висотою стільця і висотою робочої поверхні стола повинно бути таким, щоб кут між плечем та передпліччям був не менше як 90°. Відстань від екрана до очей користувача повинна становити 600–700 мм з урахуванням розмірів знаків на екрані.

Робоче місце має бути обладнане підставкою для ніг: завширшки не менше як 300 мм, завглибшки – не менше як 400 мм, заввишки до 150 мм і кутом нахилу опорної поверхні до 20°.

Основні просторові параметри робочого місця користувача персонального комп'ютера показано на рис. 4.11.

Освітлення приміщень та робочих місць повинно бути змішаним: природним та штучним. Коефіцієнт природного освітлення має бути не нижче ніж 1,5%, освітленість при штучному освітленні в площині робочої поверхні має становити 300–500 Лк. Якщо таких значень освітленості досягнути не можна, то допускається локальне освітлення, при цьому освітленість екрана не може перевищувати 300 Лк. Відношення яскравостей суміжних робочих поверхонь не повинно бути більшим ніж 3:1, а яскравостей робочих поверхонь і стін (іншого обладнання) – 5:1.

Параметри мікроклімату у приміщеннях з відеодисплейними терміналами повинні забезпечувати комфортне самопочуття організ-

му. Оптимальна температура повітря в приміщенні повинна бути в межах: у теплий період року – 23–25°C, у холодний – 22–24°C. Відносна вологість повітря упродовж року може коливатися в межах 60–40%. Швидкість руху повітря не повинна перевищувати 0,2 м/с у теплий період року і 0,1 м/с – у холодний.

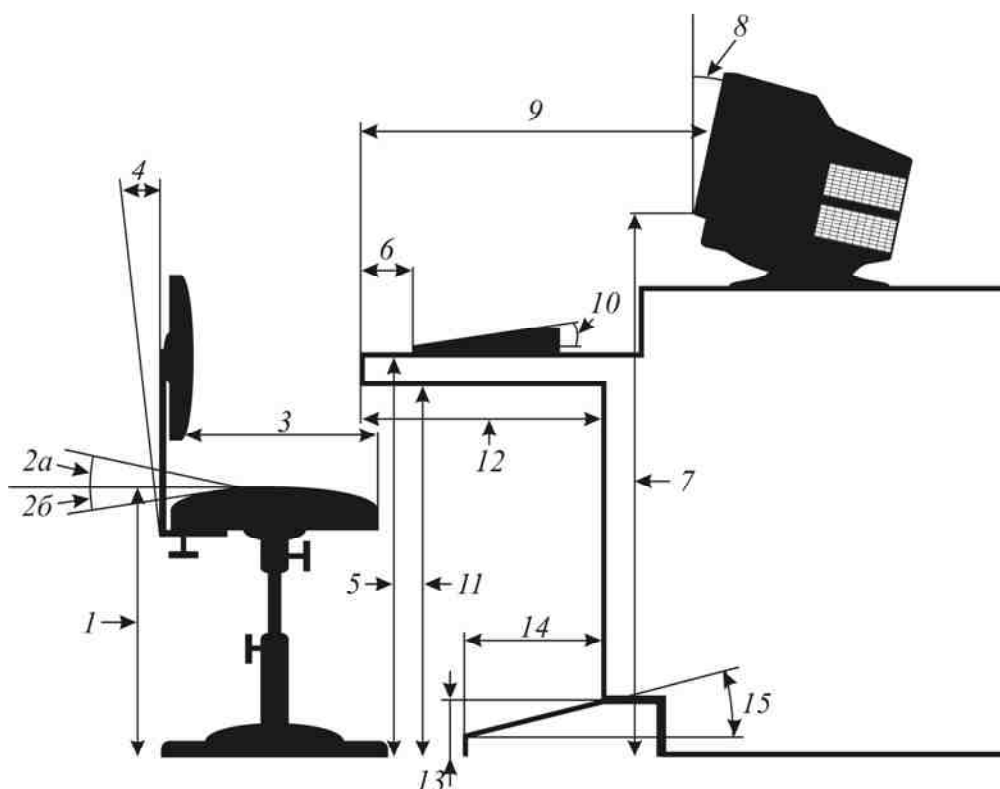


Рис. 4.11. Основні просторові параметри робочого місця користувача персонального комп'ютера:

1 – висота сидіння від підлоги до верхньої площини сидіння: 400–500 мм; 2 – кут нахилу сидіння: *a* – до 15° вперед і *б* – до 5° назад; 3 – відстань від спинки до переднього краю сидіння: 260–400 мм; 4 – кут нахилу спинки: 1–30°; 5 – висота робочої поверхні стола: 680–800 мм; 6 – відстань від клавіатури до переднього краю стола: 100–300 мм; 7 – висота нижнього краю екрана від підлоги: 950–1 050 мм; 8 – кут нахилу екрана від вертикальної площини: 15–30°; 9 – відстань від екрана до очей користувача: 600–700 мм; 10 – кут нахилу клавіатури: 5–15°; 11 – висота простору для ніг на рівні колін: не менше як 600 мм; 12 – глибина простору для ніг на рівні колін: не менше як 450 мм; 13 – висота підставки для ніг: до 150 мм; 14 – глибина підставки для ніг: понад 400 мм; 15 – кут нахилу опорної поверхні для ніг: до 20°

Оптимальним рівнем аероіонізації повітря в зоні дихання користувачів вважається вміст легких аероіонів в 1 см³ повітря:

позитивних у межах 1 500–3 000 штук, негативних у межах 3 000–5 000.

Облаштовуючи приміщення для роботи з відеодисплейними терміналами, потрібно передбачити припливно-витяжну вентиляцію або кондиціювання повітря. Надходження свіжого повітря регулюється, виходячи із таких умов (вказаний об'єм приміщення припадає на одне робоче місце з відеодисплейним терміналом):

- ❑ при об'ємі приміщення 20 м^3 потрібно подати не менш як $30 \text{ м}^3/\text{год}$;
- ❑ при об'ємі приміщення у межах від 20 до 40 м^3 потрібно подати не менш як $20 \text{ м}^3/\text{год}$;
- ❑ при об'ємі приміщення понад 40 м^3 допускається природна вентиляція, якщо немає виділення шкідливих речовин.

Рівень шуму, що супроводжує роботу користувачів персональних комп'ютерів (зумовлений як роботою системних блоків, клавіатури, так і друкуванням на принтерах, а також зовнішніми чинниками), коливається у межах 50–65 дБА. Шум такої інтенсивності на тлі високого ступеня напруженості праці негативно впливає на функціональний стан користувачів.

Нормуються *параметри шуму* з урахуванням ступеня важкості на напруженості праці. Шум у приміщенні, де створюють комп'ютерні програми, виконують теоретичні та творчі роботи, проводять навчання, не повинен перевищувати 40 дБА. Рівень шуму в приміщеннях, де працюють програмісти, не повинен перевищувати 50 дБА. Професійну кваліфіковану роботу, що потребує зосередженості, проводять у приміщеннях з рівнем шуму не вище як 55 дБА. У залах обробки інформації та комп'ютерного набору рівні шуму не повинні перевищувати 65 дБА.

Режим праці та відпочинку користувачів відеодисплейних терміналів встановлюють з урахуванням психофізіологічної напруженості їх праці, динаміки функціонального стану систем організму та працездатності. Рациональний режим праці та відпочинку передбачає запровадження регламентованих перерв, рівномірний розподіл навантажень протягом робочого дня, регулярні комплекси вправ для очей, рук, хребта, поліпшення мозкового кровообігу та психофізіологічне розвантаження.

З метою запобігання перевантаження організму як в цілому, так і окремих його функціональних систем, передусім зорового та рухового аналізаторів, центральної нервової системи, загальний час щоденної роботи з відеодисплейним терміналом треба обмежити чотирма годинами. Робота з персональним комп'ютером вважається основною, якщо вона займає не менше як 50% часу робочого дня чи робочої зміни.

З урахуванням характеру трудової діяльності, напруженості та важкості праці з використанням відеодисплейних терміналів під час основної роботи при восьмигодинній робочій зміні встановлюються додаткові регламентовані перерви:

- ❑ для розробників програм тривалістю 15 хв через кожну годину роботи;
- ❑ для операторів персональних комп'ютерів тривалістю 15 хв через дві години роботи;
- ❑ для операторів комп'ютерного набору тривалістю 10 хв через кожну годину роботи.

За будь-яких умов безперервна робота з відеодисплейним терміналом не повинна перевищувати чотирьох годин.

При дванадцятигодинній робочій зміні протягом перших восьми годин регламентовані перерви встановлюють аналогічно до восьмигодинної робочої зміни, а протягом останніх чотирьох годин тривалістю 15 хв через кожну годину незалежно від характеру трудової діяльності.

Користувачі персональних комп'ютерів, для яких ця робота є основною, підлягають медичним оглядам: попереднім – під час влаштування на роботу і періодичним – протягом трудової діяльності раз на два роки. Жінки з часу встановлення вагітності та в період годування дитини грудьми до роботи з персональним комп'ютером не допускаються.

Гігієнічні та ергономічні вимоги до відеодисплейних терміналів передусім відносять до зображення інформації на екрані відеодисплейного терміналу. Зображення інформації у найзручнішому для сприймання людиною вигляді значно сприяє збереженню належної працездатності. Зручність сприймання інформацій визнача-

ється психофізіологічними особливостями людини, можливостями зорового апарату, розмірами символів та їхнім розміщенням.

Одним із найважливіших параметрів зображення є висота символу h , яка пов'язана з відстанню від очей до площини екрана S та кутом розглядання α , співвідношенням

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{h}{2S}. \quad (4.38)$$

Кутовий розмір символу α залежить від його складності і для простих символів дорівнює 15–18', для середніх – 21–26', складних – 35–40'. Для відеодисплейних терміналів кут розглядання α повинен бути не менш як 20', а оптимальним – 24'. Виходячи із величини оптимального кута розглядання, всі інші характеристики символів на екрані мають бути такими:

- ❑ висота символів – не менш як 3,1 мм;
- ❑ ширина символів – не менш як 60–70% від висоти;
- ❑ відстань між символами по горизонталі – 15–20% від висоти;
- ❑ відстань між символами у рядку – не менш як 70% від висоти;
- ❑ відстань між рядками по вертикалі – не менш як 50% від висоти;
- ❑ товщина штрихів – не більш як 1/5–1/6 від їхньої довжини, але не менш як 0,4 мм;
- ❑ ємність екрана – не менш як 16 рядків, які вміщують по 64 символи у кожному з них, враховуючи, що кількість точок в одному рядку не повинна перевищувати 640.

Зауважимо, що мінімальний розмір точки, що світиться, – 0,4 мм для монохромного і 0,6 мм для кольорового відеодисплейного терміналу. Контрастність зображення повинна бути не менш як 0,8, а яскравість свічення екрана не менш як 100 Кд/м². Частота регенерації зображення під час роботи з позитивним контрастом (темні символи на світлому фоні) повинна перевищувати 72 Гц, а низькочастотне мерехтіння знаходитися у межах до 0,1 мм.

На якість сприймання інформації впливає і час висвічування символу. Мінімальний час безпомилкового розпізнавання символу розміром у 30 при контрасті не менш як 0,9 становить приблизно 0,1 с. Разом з тим, очікування появи зображення понад 15 с приводить до зменшення ефективності взаємодії людина-персональний комп'ютер через підвищення нервово-емоційного напруження користувача. Важливо пам'ятати, що в зоровому огляді може перебувати велика кількість об'єктів, проте вони не можуть бути всі адекватно відтворені через обмежений об'єм короткочасної пам'яті. Точно можна відтворити до семи об'єктів.

У візуалізації інформації важливу роль відіграє і багатоколірне зображення, хоча раціональне її розміщення по всій площі екрана може виявитися ефективнішим.

Потрібно також пам'ятати, що серед заходів, спрямованих на зменшення шкідливого впливу відеодисплейних терміналів на організм людини, порушено лише їх незначну частину.

4.3. Гігієнічне нормування небезпечних та шкідливих чинників

Безпека розглянутих небезпечних та шкідливих чинників ґрунтувалась на тому, що нижче від деякої інтенсивності дії чинника, яку, звичайно, називають граничнодопустимим рівнем дії, шкідливий вплив на організм людини відсутній. Чи безумовне виконання цієї умови гарантуватиме безпеку людині, залежить від того, наскільки є обґрунтованими величини граничнодопустимих рівнів.

Упродовж життя на людину діють різноманітні чинники, які змінюються за інтенсивністю та часом дії. Серед них виділимо ті, які супроводжували людину на всіх етапах її розвитку і внаслідок адаптаційних процесів без них сьогодні організм існувати не може. Для таких чинників, зокрема життєво необхідних (кисень, температура, мікроелементи та ін.), існує оптимальна величина інтенсивності дії, значне відхилення від якої призводить до шкідливої дії на організм людини. Такі чинники володіють так званою *U*-подібною залежністю ефекту від інтенсивності дії чинника, і для них вста-

новлюють оптимальне значення, нижню і верхню межі, які завдають шкоди для організму (див. рис. 4.12).

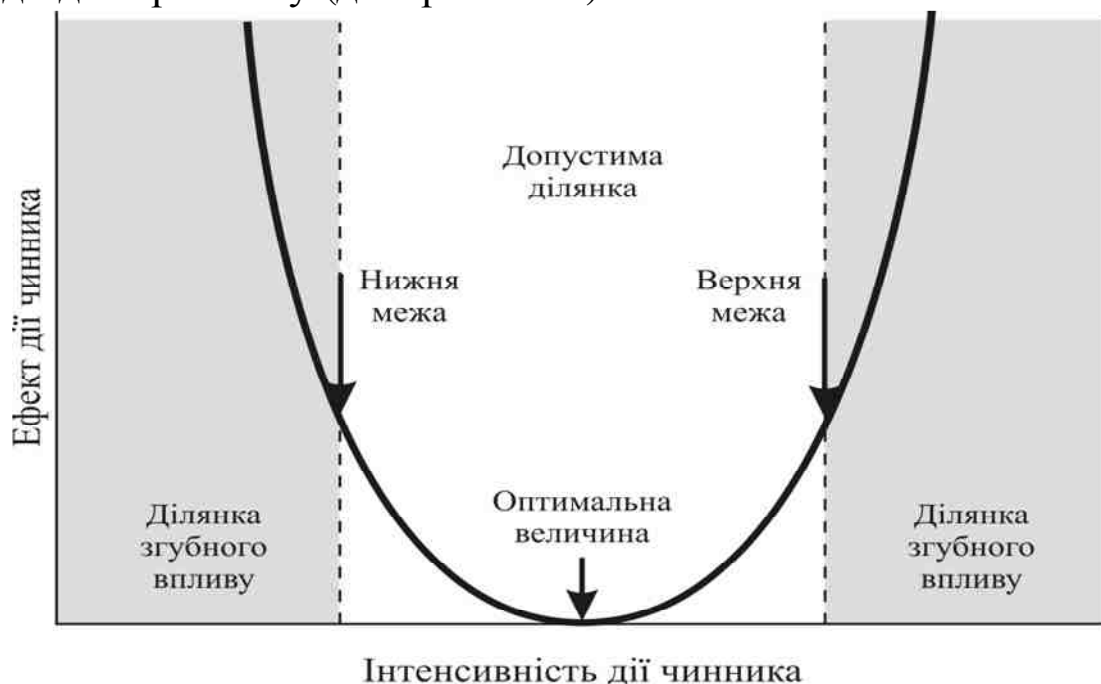


Рис. 4.12. *U*-подібна залежність ефекту дії чинника від його інтенсивності

Іншу групу становлять ті чинники, що з'явилися в середовищі проживання людини внаслідок розвитку техногенної сфери і відповідні механізми адаптації ще не встигли достатньо сформуватися. Для таких чинників характерною є лінійна або *S*-подібна залежність ефекту дії чинника від інтенсивності його дії (див. рис. 4.13).

Сьогодні серед спеціалістів точаться дискусії навколо питання, яка залежність – лінійна чи *S*-подібна, – повніше відображає залежність ефекту дії чинника від його інтенсивності. Напевно, обидві, якщо брати до уваги, що для природних чинників маємо *U*-подібну залежність, то *S*-подібну можна розглядати як перехідну від лінійної до *U*-подібної. Для чинників, які тільки що з'явилися, треба очікувати лінійної залежності, а потім у міру розвитку адаптаційних механізмів низькі інтенсивності дії чинника не впливають на організм і з'являється поріг шкідливої дії.

Очевидно, що для чинників з лінійною залежністю ефекту дії від інтенсивності дії чинника відсутнє теоретичне обґрунтування граничнодопустимих рівнів інтенсивності дії. Ці чинники будь-якої інтенсивності можуть викликати шкідливу дію на організм людини.

Їх називають ще *стохастичними чинниками* і до них відносять ті, що сьогодні викликають утворення злоякісних пухлин та мутагенні зміни.

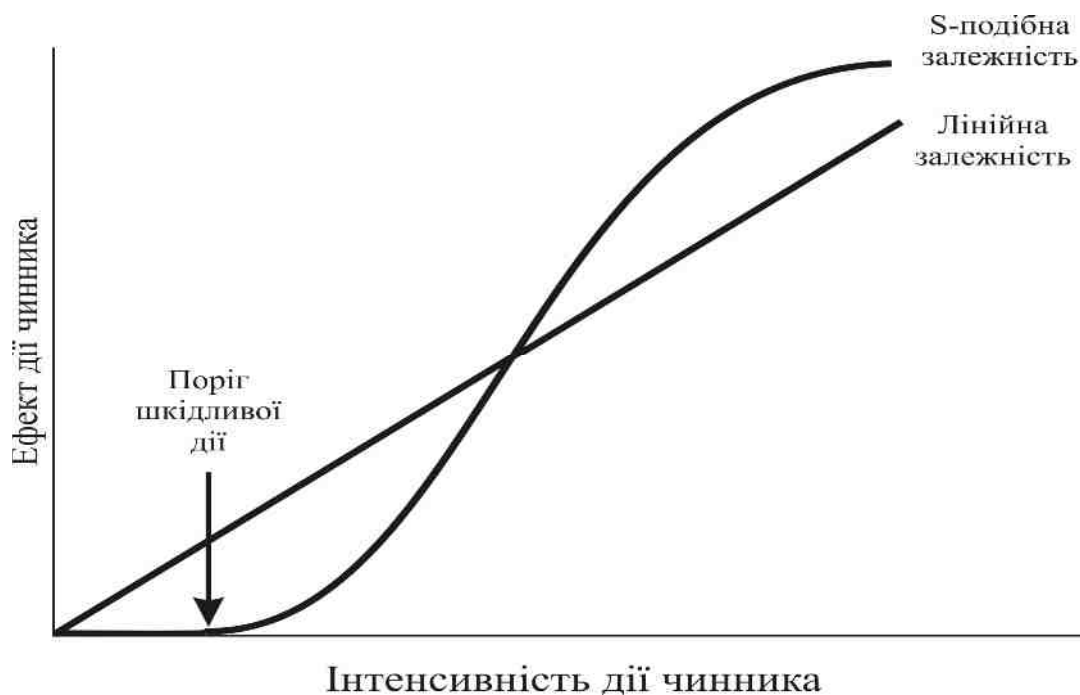


Рис. 4.13. Лінійна та S-подібна залежності ефекту дії чинника від його інтенсивності

Для нестохастичних чинників, що мають S-подібну залежність, можна обґрунтувати поріг шкідливої дії – мінімальну інтенсивність дії чинника, за якої в організмі виникають зміни, що виходять за межі фізіологічного пристосування. Однак тут важливо виділити істинну адаптацію організму від тимчасових компенсаційних ефектів. Розмежування адаптаційних, компенсаційних та патологічних реакцій організму – одне із найскладніших завдань сучасної науки про гігієнічне нормування шкідливих та небезпечних чинників.

В основу наукової концепції гігієнічного нормування покладено всестороннє вивчення загальних закономірностей взаємовідносин організму людини з чинниками навколишнього середовища, механізмів взаємодії організму з комплексом сприятливих та несприятливих чинників як антропогенного, так і природного походження, а

також соціального походження на рівні молекул, клітин, окремих органів, організму та суспільства зокрема.

Гігієнічне нормування небезпечних та шкідливих чинників відбувається на основі таких принципів:

- ❑ пріоритету медико-біологічних показників перед техноеконічними критеріями;
- ❑ урахування всіх можливих несприятливих ефектів досліджуваного чинника і нормування за найшкідливішим;
- ❑ використання порогу шкідливості з його обґрунтуванням на рівні адаптаційних механізмів;
- ❑ імовірного характеру порогів шкідливості в організмі людини;
- ❑ зв'язку зі значною біологічною варіабельністю;
- ❑ випередження гігієнічного нормування чинників перед їх впровадженням у виробництво і послідовності етапів його проведення;
- ❑ використання коефіцієнта запасу через можливість виникнення інших не врахованих варіантів дії чинників на організм людини та проведення експериментів на тваринах;
- ❑ відносності гігієнічних нормативів;
- ❑ еколого-гігієнічного підходу до нормування.

Встановлення безпечних рівнів техногенного впливу на організм людини потребує значних фінансових затрат та часу, тому поряд з встановленням граничнодопустимих рівнів практикується введення тимчасових орієнтовних допустимих рівнів.

Питаннями гігієнічного нормування небезпечних та шкідливих чинників на міжнародному рівні займаються Міжнародна організація праці та Всесвітня організація охорони здоров'я, але їх нормативи мають характер рекомендацій, які треба адаптувати до умов конкретної країни.