

Хімічна безпека



Із розвитком техніки умови праці людини не тільки не стають безпечними, а навпаки, з'являються нові, раніше не відомі небезпечні та шкідливі фактори.

Нині відомо більше 7 млн. хімічних речовин, з яких 60 тис. широко застосовують в різних сферах діяльності. На міжнародному ринку щорічно з'являється від 500 до 1000 нових хімічних сполук і сумішей. Тому останнім часом помітно збільшився вплив на людину різних шкідливих хімічних речовин.

У результаті антропогенної, головним чином виробничої діяльності, в повітря надходять різні хімічні речовини, що спричиняє зміни складу та співвідношення необхідної суміші газів. Це призводить до забруднення "внутрішнього середовища" людини хімічними речовинами, які потрапляють з повітрям.

Останнім часом помітно зріс вплив різних речовин, що потрапляють в організм людини з їжею і водою. Кількість таких речовин, за даними американської організації з контролю лікарських і харчових продуктів (FDA), досягає зараз дуже великої кількості — до 60-80 тисяч. Усе це свідчить про необхідність комплексного вирішення проблеми зниження впливу шкідливих речовин на організм людини.

Згідно з ДСТУ 12.1.007-88, шкідлива речовина - це

речовина, яка при контакті з організмом людини в разі порушення вимог безпеки може викликати виробничі травми, професійні захворювання чи відхилення в стані здоров'я, які можуть бути виявлені сучасними методиками як у процесі контакту з нею, так і у віддалені строки життя нинішнього і прийдешніх поколінь.

Ці речовини звичайно містяться в сировині, продуктах, напівпродуктах, відходах виробництва.



Хвороба Мінамата

<https://www.youtube.com/watch?v=6HHQyZ6mLpE>

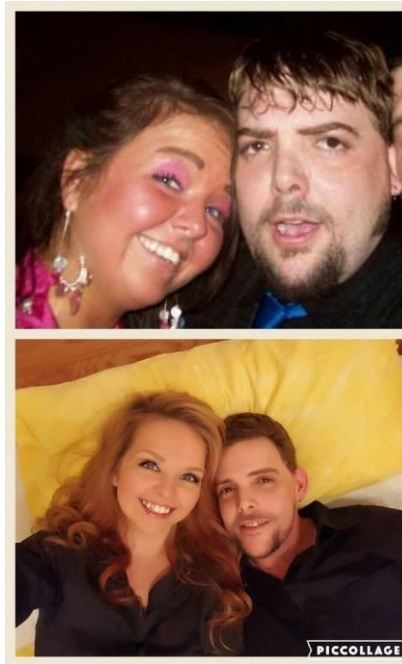
Під дією шкідливих речовин в організмі людини можуть відбуватися різні порушення. Ці порушення виявляються як **гострі і хронічні професійні отруєння**.

- ❑ **Гострі отруєння** часто настають унаслідок аварій, суттєвих порушень технологічних процесів, правил техніки безпеки й промислової санітарії. Гострі отруєння виникають після разової (разового потрапляння всередину організму) дії великих концентрацій (доз) шкідливої речовини. Виявляються ці отруєння безпосередньо в момент впливу шкідливої речовини або через невеликий (6-8 годин, іноді більше) прихований (латентний) період (наприклад, після дії оксиду азоту).
- ❑ **Хронічне отруєння** - захворювання, яке розвивається після систематичної тривалої дії малих концентрацій чи доз шкідливої речовини (Pb, Mn, Hg, C6H6 та ін.). Такі отруєння зумовлені, в основному, процесами кумуляції (накопичення).

Розрізняють кумуляцію матеріальну (накопичення шкідливої речовини в організмі людини - Hg, F, Ba) і функціональну (накопичення змін, викликаних шкідливими речовинами, наприклад, при систематичному вживанні C₂H₅OH - алкоголізм).



**Хвороба ітай-ітай
(кадмієва остеомаліяція)
- матеріальна кумуляція**



**Наслідки регулярного вживання
алкоголю та через 3 роки після відмови
від його вживання - функціональна
кумуляція**

Хронічна інтоксикація марганцем

<https://www.youtube.com/watch?v=T-N50K8wXck>

Кількісно кумулятивні властивості шкідливих речовин оцінюють за значенням **коефіцієнта кумуляції**. Коефіцієнт кумуляції — відношення сумарної дози шкідливої речовини, що викликає певний (частіше - смертельний) ефект у 50% піддослідних тварин при багаторазовому дробовому введенні, до дози, яка викликає той самий ефект при одноразовій дії:

$$K_k = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{C}$$

де

- ❑ K_k - коефіцієнт кумуляції;
- ❑ C_i - концентрація (доза) шкідливої речовини при дробовому введенні;
- ❑ C - концентрація (доза) шкідливої речовини при одноразовому введенні.

При будь-якій формі отруєння характер дії шкідливої речовини визначається ступенем її фізіологічної активності - **токсичністю**.

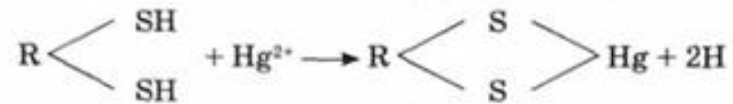
Токсичність - властивість речовини призводити до смерті чи шкодити здоров'ю живої істоти при потраплянні будь-яким шляхом в її організм. Це міра несумісності шкідливої речовини з життям.

Токсичні речовини (отрути) - це такі речовини, що проникають в організм, поєднуються з його тканинами і вже в невеликих кількостях викликають порушення їх нормальної діяльності.

Фізіологічну активність шкідливих речовин вивчає токсикологія. Промислова токсикологія - розділ гігієни праці, що вивчає дію на організм людини шкідливих речовин з метою створення нешкідливих і безпечних умов праці на виробництві, попередження отруєнь. Розрізняють токсичність

- хімічну
- фізичну.

В основі хімічної токсичності лежить хімічна взаємодія отрути з тканинами і біосубстратами організму, переважно за рахунок ковалентних зв'язків. Ці процеси є необоротними. Прикладом речовин з хімічною токсичністю є розчинні солі ртуті і миш'яку, що взаємодіють із сульфідгдрильними групами білків (-SH):



Речовини, що мають фізичну токсичність, пов'язуються з фізіологічними субстратами організму за рахунок ван-дер-ваальсових сил. У цьому випадку дія отрути є оборотною. Структура молекул отрути і біосубстрата не змінюється. Відбувається адсорбція токсичної речовини з частковою нейтралізацією і наступним виведенням з організму без помітних шкідливих наслідків. Фізична токсичність характерна для речовин наркотичної дії (спирти, альдегіди, кетони, вуглеводні речовини тощо).

Для кількісної оцінки токсичних навантажень на людину використовують ряд показників. Основні з них - концентрація, доза і токсодоза.

- Концентрація** - кількість речовини, що міститься в одиниці об'єму повітря (мг/м³).
- Доза** - кількість речовини, поглиненої середовищем (мг/кг).
- Токсодоза** - кількісна характеристика токсичності речовини, що відповідає певному рівню ураження при його дії на живий організм (мг/кг).

Залежно від застосування хімічні сполуки в різних галузях промисловості можуть бути оцінені за допомогою різних видів класифікацій. Шкідливі речовини класифікуються за такими ознаками:

- ступінь дії на організм людини;
- шлях проникнення в організм;
- характер дії на організм людини;
- ступінь токсичності;
- хімічний клас сполук.

За ступенем дії на організм людини (ДСТУ 12.1.007-88) шкідливі речовини поділяються на чотири класи небезпеки:

- I. речовини надзвичайно небезпечні;**
- II. речовини високонебезпечні;
- III. речовини помірно небезпечні;
- IV. речовини малонебезпечні.

Кожна конкретна речовина належить до відповідного класу небезпеки. У таблиці наведені показники, що оцінюють токсичну дію речовин за їх абсолютною кількістю, яка викликає певний біологічний ефект.

Класифікація небезпеки речовин за ступенем дії на організм

Показники	Норми для класу небезпеки			
	1	2	3	4
Гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони, мг/м ³	Менше за 0,1	0,1 1,0	1,1 10,0	Понад 10,0
Середня смертельна доза при введенні в шлунок, мг/кг	Менше за 15	15- 150	151- 5000	Понад 5000
Середня смертельна доза при нанесенні на шкіру, мг/кг	Менше за 100	100 500	501 2500	Понад 2500
Середня смертельна концентрація в повітрі, мг/м ³	Менше за 500	400- 5000	5001- 50000	Понад 50000
Коефіцієнт можливості інгаляційного отруєння (КМІО)	Понад 300	300- 30	29-3	Менше за 3
Зона гострої дії	Менше за 6,0	6,0- 18,0	18,1- 54,0	Понад 54,0
Зона хронічної дії	Понад 10,0	10,0- 5,0	4,9-2,5	Менше за 2,5

Основні показники токсичності речовин

- ❑ **Граничнодопустима концентрація (ГДК)** шкідливої речовини в повітрі робочої зони - це концентрація, яка при щоденній (крім вихідних днів) роботі протягом 8 годин чи іншої тривалості, але не більше 40 годин на тиждень протягом усього робочого стажу не може викликати захворювань чи відхилень у стані здоров'я, що виявляються сучасними методами досліджень у процесі роботи або на віддалений термін життя теперішнього і наступного покоління.
- ❑ **Середня смертельна доза при введенні в шлунок** - доза речовини, що викликає загибель 50% тварин при одноразовому введенні в шлунок: DL50шл, мг/кг.
- ❑ **Середня смертельна доза при нанесенні на шкіру** - доза речовини, що викликає загибель 50% тварин при одноразовому нанесенні на шкіру: DL50шк, мг/кг.
- ❑ **Середня смертельна концентрація в повітрі** - концентрація речовин, які викликають загибель 50% тварин при 2-4-годинному інгаляційному впливі: CL50, мг/м³.
- ❑ **Коефіцієнт можливості інгаляційного отруєння (КМІО)** - відношення максимально допустимої концентрації шкідливої речовини в повітрі при 20°C до середньої смертельної концентрації речовини для мишей при двогодинному впливі.
- ❑ **Зона гострої дії** - відношення смертельної концентрації шкідливої речовини до мінімальної (граничної) концентрації, яка викликає зміни біологічних показників на рівні цілісного організму, що виходять за межі пристосувальних фізіологічних реакцій.
- ❑ **Зона хронічної дії** - відношення мінімальної (граничної) концентрації, яка викликає зміну біологічних показників на рівні цілісного організму, що виходять за межі пристосувальних фізіологічних реакцій, до мінімальної (граничної) концентрації, що викликає шкідливу дію в хронічному експерименті по 4 години п'ять разів на тиждень протягом не менше чотирьох місяців.

Існує три найважливіші шляхи надходження шкідливих речовин в організм людини:

- пероральний (шлунково-кишковий тракт)
- шкірно-резобтвивний (через шкіру і слизові оболонки)
- інгаляційний (через органи дихання)

При пероральному потраплянні токсичні речовини надходять з ліками, харчовими добавками, косметикою. У виробничих умовах надходження шкідливих речовин через шлунково-кишковий тракт відбувається при вдиханні токсичних речовин, що містяться в повітрі, особливо в пилоподібному стані. Далі ці речовини затримуються на слизовій оболонці носоглотки і верхніх дихальних шляхів, переміщуються слизовою оболонкою з бронхів, трахей і носоглотки до стравоходу і, змішуючись зі слиною, ковтаються й надходять у шлунково-кишковий тракт. Потрапляння шкідливих речовин пероральним шляхом можливе внаслідок недотримання правил особистої гігієни.

Шкіра бере участь у процесі дихання і через шкіру значна кількість хімічних сполук може проникати в організм людини. Це можливо не тільки при забрудненні шкіри розчинами і пилом токсичних речовин, а й у випадку наявності токсичних газів у повітрі робочої зони. Потенційну небезпеку становлять шкідливі речовини, які добре розчинні в жирах і воді (наприклад, хлоровані вуглеводні - CCl_4 , C_6H_6 , дихлоретан, ароматичні аміни, нітросполуки, ціаніди та ін.). Токсичні пари і пил, що містяться в повітрі, всмоктуються через шкіру і надходять у кров. Здатність шкідливих речовин проникати через шкіру враховується при гігієнічному нормуванні і проведенні оздоровчих заходів.

Найбільша кількість виробничих отруєнь настає в результаті надходження шкідливих речовин у вигляді пари, газів, туманів, аерозолів в організм людини **через органи дихання**. Це спричинене великою поверхнею легеневої тканини, швидкістю проникнення в кров, відсутністю додаткових бар'єрів на шляху отрути з вдихуваним повітрям у різні органи і системи організму.

Враховуючи переважну дію на певні системи чи окремі органи, а також зовнішні ознаки отруєння, за характером дії шкідливі речовини умовно розділяють на 9 груп.

Комбінована дія речовин шкідливих речовин на організм людини

Звичайно людина зазнає впливу кількох речовин одночасно, тобто має місце їх **комбінована дія**.

Розрізняють кілька видів спільної дії шкідливих речовин, що надходять одним шляхом.

- ❑ **Односпрямована дія** — компоненти суміші діють на ті самі системи в організмі (наприклад, наркотична дія суміші вуглеводнів, дія роз'ятрювальних газів). При цьому сумарний ефект дії суміші дорівнює сумі ефектів діючих компонентів і має відповідати такому рівнянню (за Н.Г.Авер'яновим):

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \frac{C_3}{ГДК_3} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1$$

де

- $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ - фактична концентрація компонентів суміші;
 - $ГДК_1, ГДК_2, ГДК_3, \dots, ГДК_n$ - гранично допустима концентрація компонентів суміші.
- ❑ **Незалежна дія** - компоненти суміші діють на різні системи організму і їх токсичний ефект не залежить одне від одного (наприклад, бензол і роз'ятрювальні гази), тобто комбінований ефект не відрізняється від ізольованої дії. Переважає ефект якнайтоксичнішої речовини.
 - ❑ **Потенційована** (позитивний синергізм) та **антагоністична** (негативний синергізм) дія - комбінована дія суміші речовин, що за своїм ефектом у першому випадку є більшою, а в другому - меншою, ніж сума дії окремих речовин суміші, тобто в першому випадку відбувається посилення ефекту, і сумарна дія більша, ніж сумація, у другому випадку, навпаки, сумарний ефект впливу менший за очікуваний або за просту сумацію (послаблення).

Можливий також **комплексний вплив речовин** - коли отрути надходять в організм одночасно, але різними шляхами.

Класифікація шкідливих речовин за характером дії на організм

№	Назва групи речовин	Ознаки отруєння
1	Нервові (нейротропні) речовини – вуглеводні, спирти жирного ряду, сірководень, тетраетилсвинець, аміак, альдегіди	Розлад функцій нервової системи, судоми, параліч
2	Роз'ятрювальні речовини – хлор, аміак, діоксид сірки, тумани кислот, оксиди азоту, хромати, біхромати, фосген, дрібний силікатний пил	Уражають верхні дихальні шляхи (легеневу тканину)
3	Припікальної та роз'ятрювальної дії на шкіру та слизові оболонки – неорганічні кислоти, луги, деякі органічні кислоти (оцтова, мурашина), ангідриди тощо	Уражають шкірні покриви, викликають утворення наривів, виразок, некроз, опіки
4	Ферментні – синільна кислота та її солі, миш'як і його сполуки, солі ртуті (сулема), фосфорорганічні сполуки	Порушують структуру ферментів, інактивують їх
5	Печінкові – хлоровані вуглеводні, оксиди кадмію, бромбензол, фосфор, селен	Викликають структурні зміни тканини печінки
6	Кров'яні – оксид вуглецю, гомологи бензолу, ароматичні смоли, свинець і його неорганічні сполуки	Інгібують ферменти, що приймають участь у тканинному диханні, взаємодіють із гемоглобіном
7	Мутагени – етиламін, оксиди етилену, сполуки свинцю, ртуті	Впливають на генетичний апарат клітини
8	Алергени – деякі сполуки нікелю, берилій, нітрохлорбензоли	Викликають алергічні захворювання, бронхіальну астму, дерматити
9	Канцерогени – кам'яновугільна смола, 3,4-бензаприрен, ароматичні аміни, азота діазосполуки	Викликають утворення злоякісних пухлин

Фактори, що визначають токсичну дію шкідливих речовин на організм.

Токсична дія речовин залежить від складу, будови, фізико-хімічних властивостей, кількості речовини, що потрапила в організм, статі, віку, індивідуальної чутливості організму, метеорологічних умов виробничого середовища. Для більшості хімічних речовин ступінь токсичності визначається їх будовою. Найкраще цей зв'язок вивчено для органічних сполук.

Характер дії і ступінь токсичності речовини залежить від **фізико-хімічних властивостей** - леткості, розчинності у воді і жирах, агрегатного стану і дисперсності. Зі збільшенням розчинності отрут у воді та рідинах організму збільшується їх токсичність. Наприклад, BaCl_2 (добре розчинний) - високотоксична речовина, а BaSO_4 (нерозчинний у воді) - не отруйний, використовується в медицині як рентгеноконтрастна речовина.

Значення має здатність речовини до **випаровування і сублімації**. Важливо знати температури, при яких відбуваються ці процеси. Найнебезпечнішим є пароподібний стан речовини (рідкий - менш небезпечний, і твердий - ще менш небезпечний).

Вплив **дисперсності**: чим вище дисперсність, тим більш небезпечною є речовина.

Вплив **статі** у формуванні токсичного ефекту не є однозначним. До деяких отрут чутливіші жінки (бензол, ртуть, фенол, формальдегід, метанол та ін.), до інших - чоловіки (сполуки бору, марганцю). Це зумовлене специфічними ознаками ураження (ембріотоксична дія, вплив на гонади чоловіків і жінок).

Вплив **віку** на прояв токсичного ефекту при дії різних отрут неоднаковий: одні речовини токсичніші для молодих (наприклад, NaNO_2 , SC_2 тощо), інші - для людей похилого віку (наприклад, F_2 , дихлоретан); токсичний ефект третіх речовин не залежить від віку людини. Організм підлітків у 2-3 рази, а іноді й більше чутливіший до дії шкідливих речовин, ніж організм дорослих.

Індивідуальна чутливість до шкідливих речовин досить значна і залежить від особливостей протікання біохімічних процесів, а також функціональної активності різних фізіологічних систем окремої людини.

Температура впливає на зміну функціонального стану організму, порушення терморегуляції, посилення потовиділення, зміну обміну речовин і прискорення багатьох біохімічних процесів. Часте дихання і посилення кровообігу збільшують надходження шкідливих речовин через органи дихання, а такий шлях проникнення шкідливих речовин становить найбільшу небезпеку. Це зумовлене тим, що слизова оболонка дихальних органів, починаючи з порожнини рота, носа, глотки, має велику всмоктувальну здатність. Значна частина шкідливих речовин усмоктується в кров через глибокі відділи дихальних шляхів - альвеоли легень, поверхня яких становить 90-130 м². Постійна течія крові легеневидами капілярами також сприяє швидкому проникненню речовин з альвеол у кров.

- ❑ **Нереагуючі гази і пари** (наприклад, вуглеводні, ацетон) усмоктовуються в легені за законом простої дифузії в напрямку падіння концентрації. Швидкість насичення і граничний вміст у крові визначається фізико-хімічними властивостями.
- ❑ **Реагуючі гази і пари** (наприклад, NH₃, NO, NO₂) затримуються в організмі при вдиханні з постійною швидкістю, яка не змінюється у часі.

Проникаючи в організм, шкідливі речовини переносяться кров'ю в усі органи і затримуються в них (динамічний розподіл). Потім відбувається перерозподіл речовин з переважним нагромадженням у тканинах з більшою сорбційною ємністю - статичний розподіл (наприклад, Mn, Cr, Zn, Cd, Co накопичуються у печінці та нирках; Pb, Ba - у кістковій тканині; ліпідорозчинні - у жировій тканині). Інші органи рівномірно включаються в розподіл.

Основу всіх процесів у життєдіяльності будь-якого організму складають тисячі хімічних реакцій, що протікають у його клітинах з величезними швидкостями. Білки, жири, вуглеводи в організмі послідовно розщеплюються на прості сполуки. Високі швидкості процесів розщеплення речовин спричинені тим, що вони мають каталітичний характер. Роль каталізаторів відіграють ферменти, які є молекулами білка, і майже всі хімічні реакції протікають за їх участю. Кожен фермент здатен каталізувати тільки певний процес. Незначна зміна в будові чи умовах дії ферменту призводить до втрати його каталітичної активності. Паталогічні процеси, що розвиваються при дії токсичних речовин, - це вияв дезорганізації функціонального і структурного стану ферментів.

Однією зі шкідливих речовин, які часто наявні в повітрі є **пил**, що є дрібними частками твердої речовини. Залежно від походження прийнято розрізняти органічний та неорганічний пил. До органічного належать рослинний і тваринний пил. Неорганічним вважається металевий і мінеральний (кварц, азбест, цемент тощо) пил.

За способом утворення розрізняють аерозолі дезінтеграції та аерозолі конденсації.

- ❑ **Аерозолі дезінтеграції** з'являться при дробленні якої-небудь твердої речовини. При цьому утворюються порошини різних розмірів неправильної форми (у вигляді уламків).
- ❑ **Аерозолі конденсації** виникають з парів металів, які при охолодженні перетворюються у тверді частки. При цьому розміри пилових часток значно менші, ніж при утворенні аерозолей дезінтеграції.

При оцінці токсичної дії пилу необхідно враховувати такі фактори, як дисперсність, форма часток, розчинність, полярність, хімічний склад.

За дисперсністю розрізняють пил:

- ❑ крупнодисперсний - частки розміром понад 10 мкм осідають у нерухомому повітрі зі швидкістю, яка зростає;
- ❑ середньодисперсний - частки розміром 10-6 мкм повільно осідають у нерухомому повітрі;
- ❑ дрібнодисперсний пил і дим - частки розміром менше 5 мкм майже не осідають і швидко розсіюються в навколишньому середовищі.

Дрібнодисперсний пил становить для організму найбільшу небезпеку, оскільки проникає в легені й осідає в них.

З огляду на різні форми часток, слід зазначити, що найнебезпечнішими є частки багатогранні з гострими зламоподібними виступами. Осідаючи у верхніх дихальних шляхах, вони викликають запалення тканинних клітин, що, у свою чергу, створює сприятливі умови для проникнення в організм збудників різних інфекційних захворювань. Залежно від хімічного складу пил може спричиняти **отруйну** чи **механічну** дію.



Кліщі домашнього пилу

Розчинність пилу у воді і тканинних рідинах може мати позитивне і негативне значення. Якщо пил не токсичний, то його гарна розчинність є позитивним чинником, оскільки сприяє швидкому видаленню пилу з легень. У разі токсичності пилу його гарна розчинність виявляється негативною, тому що в цьому випадку токсичні речовини потрапляють у кров.

Пил завдає шкідливої дії, головним чином, дихальним шляхам і легеням. При тривалій дії на людину можливі серйозні ураження всього організму. Великі часточки пилу, осідаючи у верхніх дихальних шляхах, викидаються з організму при кашлі і чханні.

При значній кількості дрібний пил осідає на стінках альвеол. У цих місцях відбувається рубцювання тканини і порушення обміну $O_2 \leftrightarrow CO_2$, що призводить до розвитку такого захворювання, як **пневмоконіоз** (заміна легеневої тканини сполучною).

