

## МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ПРИМІЩЕНЬ

**Ю.І. Посудін, доктор біологічних наук**

*Узагальнено дані з вивчення джерел летких органічних сполук у повітрі приміщень, їх концентрації та впливу на здоров'я людини.*

*Ключові слова: леткі органічні сполуки, повітря приміщень, вплив на здоров'я людини*

За даними досліджень, проведених в США та Європі, населення індустріалізованих країн перебуває понад 90 відсотків свого часу в приміщеннях, з них майже 50 % на роботі, де якість повітря часто гірша, ніж ззовні [ 1 ].

Повітря приміщень часто забруднюється різними токсикантами, концентрація яких може бути дуже високою через малий простір. Внутрішнє повітря в містах може бути у 100 разів бруднішим, ніж зовнішнє [ 2 ]. Згідно з даними Світової організації здоров'я (The World Health Organization) щорічне забруднення повітря приміщень є причиною смерті 1,6 мільйонів людей та 2,7 % хронічних захворювань [ 3 ].

Серед основних небезпечних забруднювачів повітря приміщень є леткі органічні сполуки (ЛОС) [ 4 ].

Метою дослідження є вивчення джерел летких органічних сполук у повітрі приміщень, їх концентрації, залежності від зовнішніх факторів, впливу на здоров'я людини та токсичності, а також запобігання шкідливої дії на людський організм.

Леткі органічні сполуки за нормальної температури та тиску через малу точку кипіння легко випаровуються в атмосферу.

Розвиток передових технологій в сучасному індустріалізованому суспільстві супроводжується значним збільшенням асортименту ЛОС, що потрапляють у повітря приміщень з різних джерел. Це ароматичні гідровуглеці, аліфатичні та аліциклічні гідровуглеці, кетони, спирти, глікольєфіри, ефіри, феноли, хлоровані гідровуглеці, терпени, альдегіди, ацетати [ 5 ]. Детальний список типів, концентрацій та поширення ЛОС у повітрі приміщень наведено в монографії “Indoor Air Quality” (1995) [ 6 ].

До основних джерел ЛОС належать побутові матеріали, зокрема меблі (дерев'яні поверхні, оброблені лаками, фарбами, політурою тощо); покриття підлог, серед яких паркету, синтетичні покриття, лінолеуми та різноманітні компоненти цих матеріалів, такі як барвники, добавки, розчинники, пластифікатори; килими, порт'єри, покривала, що містять

---

\* Дослідження підтримане Грантом Університету Джорджія (США), у 2008 р. Супервайзер – професор Стенлі Д. Кейз.

синтетичні нитки, компоненти латексу та клею; книжки, газети, журнали; побутова техніка, зокрема копіювальні машини, тонери, принтери, нагрівачі, вентилятори, кондиціонери; побутова хімія та матеріали, які включають мийні речовини, воски, освіжувачі повітря, шпалери, пластикові покриття, матеріали для клеєння; нові та відновлені будинки; вихлопні гази автомобілів, транспортні речовини, що містять бензин, мастила, автомобільні рідини, компоненти внутрішнього оздоблення нових автомобілів (шкіряні покриття та тканини); тютюновий дим, біологічні частинки, такі як віруси, бактерії, гриби, пилок, послід птахів, комахи, гризуни, екскременти тварин, декоративні рослини.

Загальна кількість летких органічних речовин (ЗЛОС) визначає реакцію людського організму: концентрація ЗЛОС  $< 0,20 \text{ мг/м}^3$  комфортна для людини; в межах  $0,20\text{-}3,00 \text{ мг/м}^3$  – з'являється дратливість;  $3,00\text{-}25,00 \text{ мг/м}^3$  – надзвичайно дискомфортна;  $> 25,00 \text{ мг/м}^3$  спричиняє отруєння [7]. Типові значення концентрацій ЛОС в будинках залежать від віку будинку, рівня його оновлення, внутрішнього клімату, оздоблення, режиму вентиляції, швидкості руху повітря, температури, відносної вологості, розташування поблизу доріг, пори року.

#### **Вплив на здоров'я та токсичність летких органічних сполук.**

Промислові викиди ЛОС у десятки і сотні разів перевищують їх вміст у житлових будинках та офісах; втім, іноді це може бути навпаки. Найпоширенішим впливом ЛОС у повітрі приміщень слід вважати подразнення органів зору, носоглотки, горла, головний біль, запаморочення, нудоту [5].

Деякі з ЛОС, такі як бензол, стирол, тетрачлоретилен, 1,1,1-трихлороетан, трихлороетилен, дихлоробензол, мителенхлорид та хлороформ можуть спричинити мутагенні або канцерогенні ефекти [8].

ЛОС відіграють суттєву роль у провокуванні астми та пов'язаних з їх вмістом у повітрі будинків захворювань [9]. Для визначення того, чи спричиняють суміші ЛОС порушення функцій легенів або їх запалення через повітряні шляхи у пацієнтів без бронхіальної гіперчутливості, автори провели серію експериментів, в яких концентрацію ЛОС контролювали за допомогою повітряних фільтрів.

Дія ЛОС пов'язана з подразненням органів зору та респіраторного тракту, пригніченням центральної нервової системи. Деякі з них є канцерогенами для людей та тварин, впливають на серце, нирки та легені, погіршують пам'ять, спричиняють риніти, носові кровотечі (особливо формальдегід), фарингіт, кашель, хрипливість, погіршення стану, астму, кон'юнктивіти, головний біль або запаморочення, летаргію, втомлюваність, нездужання, анорексію, індивідуальні зміни, висип, міалгію (гіперчутливий пневмоніт, водну гарячку), втрату слуху, алергічні реакції шкіри.

До 60 млн людей, що працюють у приміщеннях, страждають на подразнення очей, носа та горла, головний біль і втомлюваність [10]. Основною причиною цього є будівельні матеріали, миючі засоби та ін.

Крім того, нові сполуки (гліюксал, метилгліюксал, глікольальдегід, діацетил) виникають як продукти реакцій ЛОС з  $\text{OH}^-$  чи  $\text{NO}_3^-$  радикалами або  $\text{O}_3$  у приміщенні. Експериментальна або комп'ютерна ідентифікація цих сполук як сенсibilізаторів допоможе пояснити вплив їх на здоров'я.

Вплив багатьох ЛОС, що легко поглинаються нашим тілом, ще недостатньо вивчений. Відомо, що погана якість повітря приміщень призводить до «багаторазової хімічної чутливості», «синдрому нового будинку», «синдрому хворого будинку» (комбінації захворювань, пов'язаних з індивідуальним місцем на роботі чи вдома) [ 11,12 ], алергію, втомлюваність, головний біль, неспокій, що погіршують «якість життя» [13-15]. Незважаючи на відносно низьку концентрацію, ЛОС може провокувати симптоми «хворого будинку» через подразнення сенсорних систем та шкіри, нейротоксичні ефекти, неспецифічні гіперчутливі реакції, зміни в сприйманні запаху та смаку [ 8 ].

Більшість населення, серед якого є наші близькі, страждає від астми та інших, спричинених забрудненням проблем завдяки підвищеному рівню ЛОС у повітрі приміщень [ 16 ]. Так, наприклад, 2-етил-1-гексанол в концентрації  $2\text{-}32 \text{ мкг}\cdot\text{м}^{-3}$ , який пов'язаний з синдромом хворого будинку, спричиняє астму у мешканців [ 17 ]. Встановлено, що одним з основних джерел алергенних та токсичних хімічних сполук у повітрі приміщень є внутрішні фактори. Існування зв'язку між внутрішнім середовищем та астмою встановлені Річардсоном та ін. [ 18 ], які довели, що причиною захворювання є домашні кліщі. Приступи астми виникають за підвищеної активності ЛОС в авіатранспорті, що зумовлюється обмеженим простором, коли людина відчуває стиснення в грудях, утруднене дихання, кашель та хрипіння [ 5 ]. Природа ЛОС, які є в повітрі приміщень, та докази різноманітних ефектів, що спричиняють ці сполуки, обговорюються в огляді Рамчева та ін. [ 19 ]. Дослідники дійшли висновку, що середовище приміщень може мати першорядне значення, оскільки в сучасному суспільстві працівники перебувають в замкнутому просторі, де дія ЛОС призводить до цілого спектра захворювань – від помірної роздратування до серйозніших захворювань, включаючи рак.

Була досліджена комбінована токсична дія суміші домінуючих ЛОС (формальдегіду, бензолу, метилбензолу, диметилбензолу, етилбензолу) та амонію в атмосфері нових мебльованих кімнат [ 20 ]. Лабораторних мишей використали як тест-об'єкти. Доведено, що газова суміш, застосована в цих дослідженнях, негативно впливала на кров, печінку, серце, легені тварин, особливо самичок.

Людство приречене до довготривалої експозиції складних сумішей ЛОС. В огляді Хефнера та ін. [ 21 ] обговорюється проблема токсичності, особливо генотоксичності  $\text{C}_4\text{-}9$ -альдегідів, зокрема гексанолу та нонанолу, бутанолу, пентанолу, гептанолу та октанолу, які було знайдено у повітрі приміщень. Джерелом  $\text{C}_4\text{-}9$ -альдегідів слід вважати процеси згоряння, тютюновий дим, покриття поверхонь та підлог, деревинні матеріали, різні споживчі продукти тощо. Показано, що даних щодо токсичності,

генотоксичності та карценогенності С4-9-альдегідів недостатньо, тому потрібні подальші дослідження.

Продемонстровано [ 22 ], що у повітрі приміщень існує багато типів ЛОС, які беруть участь у хімічних реакціях з одночасною дією  $O_3$  та  $NO_2$ , які погіршують якість повітря приміщень та негативно впливають на здоров'я людини.

Огляд [ 23 ] присвячений проблемі небезпечного впливу таких компонентів повітря приміщень як токсичні леткі органічні сполуки, розчинники, полімери, пестициди, альдегіди.

Особлива увага приділена впливу типових забруднювачів повітря приміщень, що спричиняють алергію та інфекцію верхніх дихальних шляхів у дітей (Rolle-Kamprczyk et al. в роботі [ 24 ]). Під час досліджень було проведено оцінювання тютюнового диму, що містить ЛОС, та процеси виділення з сечею деяких метаболітів ЛОС. Доведено, що приміщення з високим рівнем тютюнового диму характеризуються вищою концентрацією бензолу порівняно з тими, де пасивне куріння було відсутнє. Саме цим можна пояснити суттєву різницю у виділенні метаболітів ЛОС з сечею дітей, що мешкають у прокуреному або чистому повітрі. Високі концентрації толуолу в приміщенні спричиняють atopічні симптоми, такі як екзема, яку пов'язують з виділенням з сечею таких метаболітів ЛОС як толуол S-бензил-меркаптокислота.

Було встановлено взаємозв'язок між незвичайною комбінацією забруднень повітря в школах та їх впливом на здоров'я учнів: подразнення респіраторної системи, астма, пошкодження органів зору, погіршення загального стану, збільшення вірусних респіраторних інфекцій серед дітей [ 25 ]. Випаровування з каналізаційної системи, пластикових покриттів підлог призводять до комбінованої експозиції вуглеводнів, 2-етилгексану та пов'язаної з вологістю мікрофлори. Хімічні забруднення в системі колектора та вологі будівельні матеріали були ідентифіковані як джерела забруднень. Автори дійшли висновку, що лише ремедіація шкільних будинків покращить якість повітря приміщень та стан здоров'я дітей.

В огляді [ 26 ], присвяченому обговоренню різноманітних джерел впливів ЛОС на здоров'я людей, і в роботі [ 27 ] даються пропозиції щодо контрзаходів проти забруднених шкіл, зокрема гіперчутливості до ЛОС.

Проблеми якості повітря приміщень в школах розглянуто в роботі [ 28 ]; досліджено зв'язок між дією забруднювачів та симптомами, які вони викликають. Низькі концентрації формальдегіду підвищують ризик алергенних захворювань, хронічного подразнення та раку. Автори вважають, що поява симптомів у школярів пов'язана з дією ЛОС, плісені, мікробних ЛОС та алергенів.

Відомо, що забруднення повітря приміщень відіграє важливу роль у підвищенні чутливості до них організму та розвитку симптомів респіраторних захворювань. Стюарт ті ін. (Stewart et al., в роботі [ 29 ]) провели дослідження, які мали за мету вивчити вплив на дітей віком від 4 до 15 років таких забруднювачів повітря приміщень як суспендовані

частинки [ $PM_{2.5}$ ], тютюновий дим, ЛОС та формальдегід,  $NO_x$ , кліщі та гриби, що спричиняють алергію, в сукупності з вологістю та температурою. Всі ці забруднювачі сприяють розвитку астми у дітей.

Група дослідників [ 30 ] вивчала вплив ЛОС з озоном і без нього на здоров'я та психологічний стрес жінок, який оцінювали до, впродовж та після 140-хвилинної експозиції. Змішування ЛОС з озоном призводило до появи таких подразнюючих компонентів як альдегіди, пероксид водню, органічні кислоти, вторинні органічні аерозолі та наддрібні частинки. Дія ЛОС з та без  $O_3$  не призводила до суттєвих об'єктивних чи суб'єктивних впливів на здоров'я, чого не можна сказати про психологічний стрес.

Дані, зібрані впродовж 6 місяців вагітності пацієнток та перших 6 місяців життя немовлят у 170 пологових будинках, дозволили визначити побутові продукти, які можна пов'язувати з найвищою концентрацією загальних ЛОС [ 31 ]. Встановлено, що це повітря та аерозолі перші спричиняли діарею в немовлят та біль в вухах, тоді як другі – діарею та нудоту. Головний біль у матерів впродовж 8 місяців після пологів спричиняли освіжувачі повітря та аерозолі; відчуття депресії – освіжувачі повітря.

Результати аналізу здоров'я близько 350 дорослих з 224 облаштованих квартир показали, що 107 мешканців з 350 (30,57%) мають різні симптоми, пов'язані з порушенням нервової системи [ 32 ]. Вони, так само як й концентрація формальдегіду, ослаблялися з часом після облаштування квартир. Автори дослідження пропонують відкривати вікна та застосовувати вентиляцію для запобігання дії ЛОС на здоров'я.

Під час дослідження впливу забруднювачів повітря на здоров'я людей поважного віку від 65 до 95 років, які мешкали у соціальному центрі поблизу Парижа [ 33 ], встановлено, що основними причинами забруднення є складності утримання місць проживання, тривале перебування на кухні, зловживання побутовою хімією, погана вентиляція.

Вплив продуктів згоряння, пасивного куріння, ЛОС, формальдегіду, внутрішньої мікрофлори на здоров'я мешканців показано в роботі [34]. Обговорено причини лейкемії та синдрому хворого будинку. Доведено, що внаслідок поганого менеджменту виробництва декоративних матеріалів та слабкої законодавчої бази, якість будівельних матеріалів в Китаї є вкрай низькою і не відповідає швидкому економічному розвитку. Крім того, регіональний протекціонізм та погане виконання законів є серйозною проблемою, яка не сприяє покращенню здоров'я населення.

Дослідження 200 нових будинків з оформленими і пофарбованими приміщеннями та визначення концентрацій в них формальдегіду, бензолу, толуолу, етилбензолу, ксилолу та загальних ЛОС показали, що їх мешканці мають вищий рівень симптомів дискомфорту; більшість людей, що живуть у нових будинках упродовж двох років, відчувають дискомфорт порівняно з тими, хто мешкають в будинках давно [ 16 ]. Дослідники дійшли висновку щодо необхідності ретельного контролю забруднення ЛОС в нових облаштованих будинках.

Автори роботи [ 35 ] стверджують, що інформативнішим може бути рівень ЛОС у крові, ніж у повітрі. Проблема полягала у знаходженні зв'язку 11 видів ЛОС, ідентифікованих в крові громадян США (953 дорослих учасників вимірювань віком 20-59 років), з порушеннями пульмональних функцій організму. Було визначено, що лише 1,4-дихлоробензол (1,4-DCB), спричинений тютюновим димом, а також освіжувачі повітря, туалетні дезодоранти, нафталінові кульки, що застосовуються населенням США, можуть призвести до послаблення пульмональних функцій.

Вивчався вплив таких ЛОС, як бензол, толуол, етилбензол, ксилол та стирол на якість повітря приміщень в типових копіювальних центрах Тайваню [ 36 ]. Ризик канцерогенності повітря всіх досліджених центрів можна пояснити високими концентраціями бензолу.

Багато ЛОС демонструють токсичні властивості під час дії відносно інтенсивних експозицій [ 37 ]. Токсичні ефекти притаманні також деяким хімічним сполукам, таким як бензальдегід,  $\alpha$ -терпінеол, бензилацетат та етанол за відносно низькими рівнями доз (9-14 мг/кг).

Огляд Леслі [ 38 ] присвячений розгляду проблем ризику для здоров'я з боку забруднювачів повітря приміщень, таких як біологічні і небіологічні ЛОС, озон та продукти згоряння.

**Оцінювання дії ЛОС.** Для розуміння впливу хронічної дії низько інтенсивних рівнів ЛОС необхідна розробка аналітичних методів для кількісного оцінювання полярних органічних сполук за низькими концентраціями. Потрібні критерії для вивчення емісії ЛОС у повітря приміщень, достатності вентиляції, сукупних чи синергічних ефектів, що утворюються сумішами ЛОС, токсичності продуктів розкладання мікроорганізмів, застосування об'єктивних тестів для дослідження дії забруднювачів повітря приміщень на здоров'я мешканців, покращення індексів їх якості.

Емпіричні рівняння для оцінювання токсичності різних типів ЛОС (вуглеводні, ефіри, кетони, спирти та ін.) були запропоновані Любліною та Работніковою [ 39 ].

Проведено порівняння зразків ЛОС у повітрі будинків, мешканці яких відчували симптоми хворого будинку, з тими будинками, де таких симптомів не було зареєстровано [ 40 ]. Мультіваріантний метод оцінювання одержаних ЛОС дозволив дослідити різницю якості повітря в «проблемних» та «непроблемних» будинках. Було доведено, що хімічний склад повітря приміщень в обох групах будинків був різним.

Варто відмітити цікавий підхід щодо оцінювання зв'язку між факторами, що пливають на якість повітря в приміщеннях нових будинків, та синдромом хворого будинку, запропонований японськими вченими [41-43]. Оцінювання симптомів хворого будинку провели за допомогою стандартизованих анкетних опитувань, яким підлягали мешканці будинків в Японії. Серед типових запитань слід відзначити вік мешканців, стать, ставлення до куріння, схильність до алергічних захворювань, наявність

тварин у приміщеннях, період проживання в будинку, розміри домашнього господарства [ 42 ], рід занять (повний чи неповний робочий день, пенсіонер чи безробітний) [ 43 ]. Серед основних запитань, пов'язаних з будинками, були: структура будинку (дерев'яний, бетонний чи залізобетонний), вік будинку, оновлення чи ремонт упродовж останніх двох років, наявність покриття підлоги, тип оформлення стін, наявність вогкості, присутність курців, використання ароматизаторів та репелентів [ 41 ].

Анкетні опитування склали інформацію щодо медичної історії мешканців (наявність астми чи алергії), загальні симптоми (втомлюваність, відчуття важкої голови чи головний біль, нудота, запаморочення), скарги на зір (свербіння чи подразнення очей) та носоглотку (подроздрення, нежить), проблеми з горлом та дихальною системою (хрипіння, сухість, кашель) або шкірою [ 41 ].

### **Запобігання дії ЛОС на здоров'я мешканців у приміщеннях.**

Покращити якість повітря приміщень та запобігти небезпечному впливу ЛОС можна шляхом ретельного контролю якості повітря, застосування вентиляційних систем [ 16, 32, 37,44-52 ]. Для побудови «здорових» будинків, комфортних для проживання людей, необхідно використовувати нешкідливі будівельні матеріали.

Як приклад, можна навести застосування багатошарової структури матеріалу для підлог, яка забезпечує мінімальний ризик отримання симптому хворого будинку [ 53 ]. Група дослідників [ 54 ] запропонувала використання в технології виробництва матеріалів для підлог води, що дозволило зменшити рівень ЛОС та інших забруднювачів, які використовують для обробки деревини .

Дослідження емісії ЛОС з принтерної та копіювальної техніки [ 55 ] показало, що високі їх концентрації супроводжують процеси друку та копіювання з використанням паперу, одержаного в результаті рециркуляції. Доведено [ 56 ], що вибір певного типу принтерної техніки може забезпечити зменшення рівня ЛОС у 25 разів. Вважається недоцільним розташувати лазерні принтери з традиційним коронним розрядом поблизу робочих місць. У добре вентильованих приміщеннях офісів концентрації ЛОС у повітрі знаходяться в межах рекомендованих рівнів. Застосування вентиляції повітря та адсорбуючих матеріалів у системах очищення повітря сприяє ефективному зменшенню рівня формальдегіду та ЛОС у повітрі.

Впливу забруднених килимів на якість повітря в приміщеннях та проблемі їх очищення від біологічних забруднень присвячена робота [ 57 ].

Існують технології, що дозволяють звести нанівець емісію забруднень у приміщеннях [ 48 ]. Одна з них пропонує використання архітектурних матеріалів, які не забруднюють повітря. Відповідно до цих технологій розроблено матеріали для підлоги, які майже не випаровують формальдегід. Інша технологія передбачає вилучення забруднювачів з будівельних матеріалів температурною їх обробкою. Ця технологія

ефективна для ЛОС, чого не можна сказати про формальдегід.

Фотокаталітичне окиснення ЛОС є надзвичайно привабливою альтернативною технологією щодо очищення та дезодорування повітря [ 58 ]. Доведено, що застосування звичайних флуоресцентних ламп може сприяти ефективному вилученню низьких концентрацій ЛОС з мало забрудненого повітря.

Одна з багатообіцяючих технологій очищення повітря приміщень, застосовувана впродовж останніх років, є фіторемедіація (від грецького слова *phyto* (рослина) та латинського *remedium* (відновлювати баланс, от remediating) – комплекс процесів, в яких рослини використовують для віддалення, перетворення, нейтралізації або руйнування забруднювачів з компонентів навколишнього середовища. Рослини як об'єкти фіторемедіації мають перевагу, оскільки характеризуються швидким ростом, великою біомасою, толерантністю до забруднювачів [59].

### Методи ідентифікації та аналізу ЛОС.

Комбінація методів хроматографії та мас-спектрометрії (ГХ/МС) дозволяє поєднати хроматографічне розділення компонентів суміші з мас-спектрометричною ідентифікацією окремих компонентів (рис. 1).

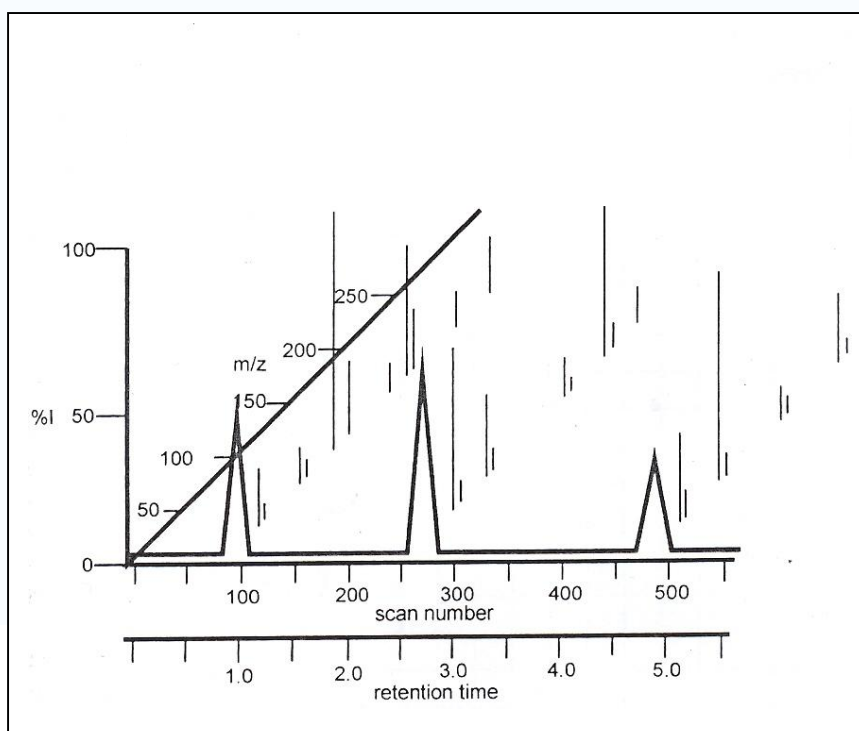


Рис. 1. Хроматографічне розділення компонентів суміші з мас-спектрометричною ідентифікацією окремих компонентів

Поєднання газової хроматографії з мас-спектрометрією дає можливість реалізувати інжекцію газової суміші, що аналізується, в колонку газового хроматографа, де компоненти розділяються внаслідок



взаємодії з колонкою. Розділені компоненти подаються на вхід мас-спектрометра, який реєструє мас-спектр кожного компонента.

*Метод оптико-акустичної спектроскопії (ОАС)* базується на перетворенні поглинутого випромінювання в звукові коливання. Процедура вимірювань полягає в модуляції оптичного (лазерного) випромінювання, яке подається на зразок, розміщений у камері з прозорим вікном. Модульоване випромінювання частково поглинається зразком, а частково витрачається на тепло, яке розсіюється в оточуючий простір. При цьому, теплове випромінювання змінюється з частотою модуляції. Якщо в камері знаходиться газ, тиск його буде також змінюватися з тією ж самою частотою, тобто утворювати акустичні коливання. Зміни тиску можна зареєструвати за допомогою мікрофона.

Як приклад застосування ОАС можна навести детектування у продуктах дихання пацієнта *n*-бутану ( $C_4H_{10}$ ), який є біомаркером раку легень на ранніх стадіях [ 60 ].

*Техніка мас-спектрометрії на основі реакцій переносу протона (РПП/МС)* ґрунтується на “м’якій” іонізації, пов’язаній з утворенням молекулярних іонів шляхом додавання або відбирання протону [ 61,62 ].

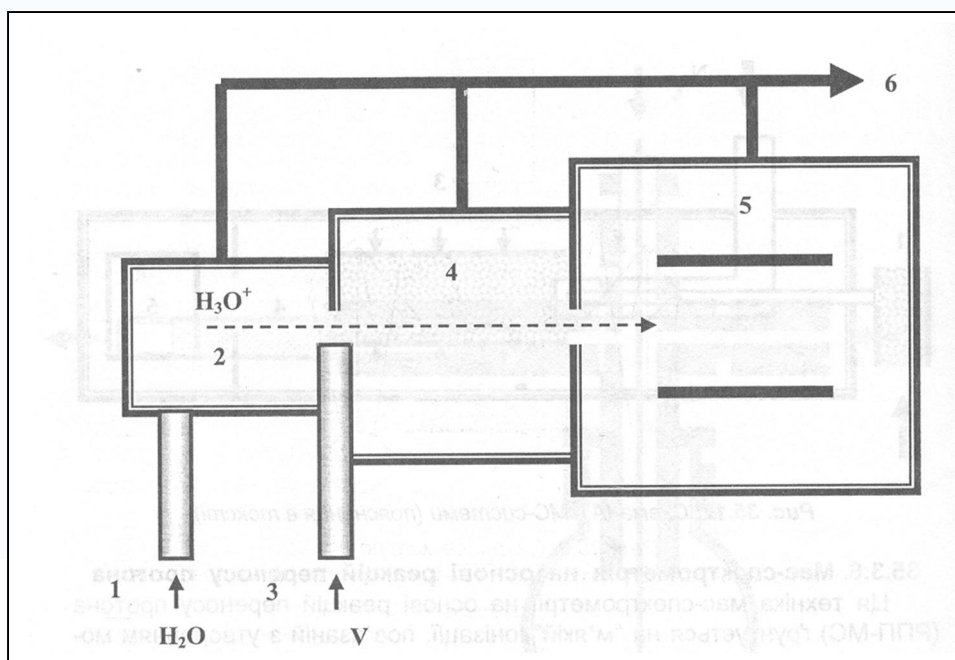
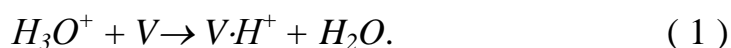


Рис. 2. **Схема РПП/МС системи:** 1 – вхід водяної пари; 2 – система утворення іонів; 3 – вхід повітря з ЛОС; 4 – дрейфова камера; 5 – мас-спектрометр; 6 – насос.

Більшість молекул (*R*) іонізуються при додаванні протона ( $R + H^+$ ). В основі реакції переносу протона лежить процес заряджання молекули води, що супроводжується утворенням іону  $H_3O^+$ , з подальшою передачею заряду летким органічним компонентам *V*, які аналізуються. При цьому відбувається реакція переносу протона:



Схему РПП/МС-системи наведено на рис. 2. Водяна пара під тиском 150 Па подається на вхід 1 системи 2 утворення іонів. Близько 98% пари  $H_2O$  перетворюється у іони  $H_3O^+$ . Повітря з леткими речовинами  $V$ , що аналізуються, подається через вхід 3 у дрейфову камеру 4, куди потрапляють завдяки прикладеному слабкому електричному полю іони  $H_3O^+$ . В дрейфовій камері відбувається реакція переносу протона, що супроводжується утворенням іонів  $V \cdot H^+$ . Ці іони дрейфують до входу мас-спектрометра 5, де аналізуються. Всі камери системи зв'язані з насосом 6. Чутливість такої РПП/МС-системи становить близько 1 нл/л.

**Висновки.** Проблема пошуків, ідентифікації та аналізу летких органічних сполук у повітрі приміщень є вкрай актуальною, оскільки вона пов'язана із зменшенням небезпечних впливів цих сполук на здоров'я та комфорт мешканців. Подальший прогрес можна пов'язати з ретельним контролем якості повітря приміщень, застосуванням нешкідливих для довкілля будівельних матеріалів, розробкою нових аналітичних методів оцінювання ЛОС та технологій вилучення найнебезпечніших сполук з повітря приміщень.

### Список літератури

1. *Indoor Air Pollution: An Introduction for Health Professionals*. 1994. <http://www.epa.gov/iaq/pubs/hpguide.html>
2. Performance of three air distribution systems in VOC removal from an area source/ Yang, X., J. Srebric, X. Li, and G. He. // *Building Environ.*— 2004.—39.—P.1289-1299.
3. WHO's Programme on Indoor Air Pollution. 2002. 30.06.2010. [www.who.int/indoorair/contact/en/index.html](http://www.who.int/indoorair/contact/en/index.html)
4. Koppmann R. *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere*.— Blackwell Pub.— 2007.
5. Hess-Kosa K. *Indoor Air Quality. Sampling Methodologies*. Lewis Publishers. Boca Raton-London-New York- Washington.— 2002.
6. *Indoor air quality. A comprehensive reference book*. M. Maroni, B. Seifert, T. Lindvall, eds. Amsterdam-Laussane-New York-Oxford-Shannon-Tokyo, 1995.—1049 p.
7. Hunter R. and Oyama S.T. *Control of Volatile Organic Compound Emissions. Conventional and Emerging Technologies*/ R. Hunter, S.T. Oyama John Willey & Sons, Inc. 2000.
8. Godish Thad *Indoor Environmental Quality*, Lewis Publishers, Boca Raton – London-New York-Washington. 2001.—461 p.
9. The respiratory effects of volatile organic compounds/Pappas, G.P., Herbert, R.J., Henderson, W. et al.// *International Journal of Occupational and Environmental Health* .—2000.— 6(1) .—P.1-8.
10. Evaluation of the contact and respiratory sensitization potential of volatile organic compounds generated by simulated indoor air chemistry/

Anderson, S. E., Wells, J. R.; Fedorowicz, A. et al.//*Toxicological Sciences*.— 2007.— 97(2).—P. 355-363.

11. Ando, M. 2002. Indoor air and human health. Sick-house syndrome and multiple chemical sensitivity/ M.Ando//*Kokuritsu Iyakuhin Shokuhin Eisei Kenkyusho Hokoku*.— 120.—P.6-38.

12. Shinohara, N. Identification of responsible volatile chemicals that induce hypersensitive reactions to multiple chemical sensitivity patients/ Shinohara, N., Mizukoshi, A., Yanagisawa, Y.//*Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*.—2004.— 14(1).—P.84-91.

13. Long-term exposure to low levels of formaldehyde increases the number of tyrosine hydroxylase-immunopositive periglomerular cells in mouse main olfactory bulb/ Hayashi, H. N., Kunugita, K., Arashidani, H. et al.// *Brain Res*. 2004.— 1007.—192-197.

14. Ingrosso G. Free radical chemistry and its concern with indoor air quality: an open problem. *Microchemical Journal*.—2002.— 73(1-2).—P.221-236.

15. Kostiainen, R. Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses. Environmental Laboratory Helsinki, Helsinki, Finland. *Atmospheric Environment*.— 1995.— 29(6).—P. 693-702.

16. Investigation of human exposure levels of volatile organic compounds and effects on health/ Gao, X., Bai, Zhi-peng, You, Y. et al.//*Huanjing Yu Jiankang Zazhi*.—2006.— 23(4).—P.300-303.

17. Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air/ D.Norback, G.Wieslander, K.Nordstrom, R.Walinder//*The international journal of tuberculosis and lung disease : the official journal of the International Union against Tuberculosis and Lung Disease*.— 2000.— 4(11).—P.1016-25.

18. Richardson G. How is the indoor environment related to asthma?: literature review/ Richardson G., Eick S., Jones R. // *Journal of advanced nursing*.— 2005.— 52(3).—P. 328-39.

19. Rumchev K. Volatile organic compounds: do they present a risk to our health? / Rumchev K., Brown H., Spickett J.//*Reviews on environmental health*.—2007.— 22(1).—P.39-55.

20. Combined toxicity of volatile organic compounds and ammonia in indoor air/ Ou C., Zhao J., Yang H. et al.//*Huanjing Yu Jiankang Zazhi*.— 2004.—21(1).—P.44-46.

21. Genotoxicity of indoor airborne C4-C9-aldehydes: current state of knowledge/ Hepfner, E., Stahl, T., Salthammer, T., Mersch-Sundermann, V. // *Umweltmedizin in Forschung und Praxis*.—2005.—10(1).—P.7-19.

22. Zhu Z. Chemical reaction of VOCs in indoor air and health effects/ Zhu Z., Zeng G., Xu M.//*Huanjing Yu Jiankang Zazhi*.—2007.— 24(4).—P. 274-276.

23. Beall, J.R. and Ulsamer, A. G. Toxicity of volatile organic compounds present indoors/ J.R. Beall, A.G. Ulsamer//*Bulletin of the New York Academy of Medicine*.—1981.— 57(10).—P.978-96.

24. Biomonitoring in environmental medicine - results of LARS/ Rolle-Kampczyk U., Diez U., Rehwagen, M. et al.//*WIT Transactions on Biomedicine and Health* .—2005.— 9(Environmental Health Risk III) .—P.41-49.
25. Putus, T. Chemical and microbial exposures in a school building: adverse health effects in children/ Putus, T., Tuomainen, A., Rautiala, S.//*Archives of Environmental Health* .—2004.— 59(4) .—P.194-201.
26. Zhao J. Source and health effect of indoor volatile organic compounds/ Zhao J., Jin, S.//*Weisheng Yanjiu*.—2004.— 33(2) .—P.229-232.
27. Uchiyama I. Children's health and countermeasures against indoor air chemicals/ Uchiyama I. // *Kankyo Gijutsu* .—2004.— 33(10) .—P.730-735.
28. Daisey J M. Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information/ Daisey J M., Angell W J., Apte M G.//*Indoor air* .—2003.— 13(1) .—P.53-64.
29. Monitoring internal air quality within a community of known respiratory health status/ Stewart L., Watson A. F. R., Gee I. L. et al.//*Advances in Air Pollution* .—2000.— 8(Air Pollution VIII) .—P.765-773.
30. Health effects of a mixture of indoor air volatile organics, their ozone oxidation products, and stress/ Fiedler, N., Laumbach, R., Kelly-McNeil, K. et al.//*Environmental Health Perspectives* .—2005.— 113(11) .—P.1542-1548.
31. Symptoms of mothers and infants related to total volatile organic compounds in household products/ Farrow, A., Taylor, H., Northstone, K., Golding, J. // *Archives of Environmental Health* .—2003.— 58(10) .—P.633-641.
32. Liu, K. Study on the situation of formaldehyde and TVOCs pollution to the air of decorated indoors and its effect to adult on health/ Liu, K., Cheng, X., Lin, P.//*Jiangsu Yufang Yixue* .—2005.—16(4) .—P.12-14, 53.
33. Indoor air pollution in old people's homes related to some health problems: a survey study/ Coelho, C., Steers, M., Lutzler, P., Schriver-Mazzuoli, L. // *Indoor Air*.—2005.—15(4) .—P. 267-274.
34. Qian H. Indoor air pollution and its adverse health effects/ Qian H., Dai H.// *Huanjing Yu Zhiye Yixue* .—2007.— 24(4) .—P.426-430.
35. Volatile organic compounds and pulmonary function in the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994/ Elliott, L., Longnecker, M. P.; Kissling, G.E., London, S. J.//*Environmental Health Perspectives*.—2006.— 114(8) .—P.1210-1214.
36. Characteristics and health impacts of volatile organic compounds in photocopy centers/ Lee, C.-W., Dai, Yu-T., Chien, C.-H., Hsu, D.-J.//*Environmental Research* .—2006.— 100(2) .— 139-149.
37. The identification of polar organic compounds found in consumer products and their toxicological properties/ Cooper, S. D., Raymer, J. H., Pellizzari, E.D., Thomas, K.W. // *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* .—1995.— 5(1) .—P. 57-75.
38. Leslie G.B., Health risks from indoor air pollutants: Public alarm and toxicological reality//*Indoor+Built Environment* .—2000.— 9(1) .—P.5-16.

39. Lyublina, E. I. Predicting the toxicity of volatile organic compounds from physical constants/ Lyublina, E. I. and Rabotnikova, L. V.// *Gigiena i Sanitariya* .—1971.—36(8).—P.33-37.
40. Multivariate evaluation of VOCs in buildings where people with non-specific building-related symptoms perceive health problems and in buildings where they do not/ A.-L. Sunesson, I. Rosen, B. Stenberg, M. Sjoestroem//*Indoor Air* .—2006.— 16(5).—P.383-391.
41. Relationship between sick building syndrome and indoor environmental factors in newly built Japanese dwellings/ Takeda M., Saijo Y., Yuasa M. et al.// *Int Arch Occup Environ Health* .— 2009.— 82(5).—P. 583-593.
42. Symptoms in relation to chemicals and dampness in newly built dwellings/ Saijo Y., Kishi R., Sata F. et al.//*Int Arch Occup Environ Health* .— 2004.— 77.—P.461-470.
43. Relation of dampness to sick building syndrome in Japanese public apartment houses/ Saijo Y., Nagaki Y., Ito T. et al.//*Environ Health Prev Med* .— 2009.— 14.—P. 26-35.
44. Dyer, J.A., Keller, R.A., Mulholland, K.L., Sylvester, R. W. Reducing VOC emissions through pollution prevention//Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association.—1996.— 89th wa4d04/1-wa4d04/12.
45. Controlling sources of indoor air pollution through pollution prevention National Risk/ Leovic, K.W., Whitaker, D., Brockmann, C. et al. Editor(s): Persily, Andrew K. IAQ and Energy 98: Using ASHRAE Standards 62 and 90.1, New Orleans, LA, United States, Oct. 24-27, 1998.—1999.—P.213-221.
46. Inoue M. VOC regulation. *Setchaku no Gijutsu* .—1999.—19(2).—P.16-17.
47. Torii S. Concept of sick house syndrome, and the strategy for the management and the prevention/ Torii S. // *Arerugi* .—2000.— 49(1).—P.5-8.
48. Ro T. The indoor air pollution prevention technology for "sick house"// *Kuki Seijo* .—2002.— 39(6).—P. 378-384.
49. Kadosaki M. Development of VOC sensors for prevention of sick-house symptom//*Seramikkusu*.—2003.— 38(6).—P.439-443.
50. Liu, Xiao-hong. Hazards and prevention of indoor environment contamination/ Liu, Xiao-hong; Zhou, Ding-guo//*Zhejiang Linxueyuan Xuebao* .—2003.— 20(3).—P.297-301.
51. Liu, Xiao-hong. Sick building syndrome prevention and control/ Liu, Xiao-hong; Li, Wei-hua//*Huanjing Yu Jiankang Zazhi* .—2005.— 22(4).—P.312-314.
52. Cooper C.D. Air pollution control methods. Editor(s): Seidel, Arza. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology (5th Edition) .—2007.— 26.—P.667-729. Publisher: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, N. J.
53. Hong, M. S. Flooring material capable of reducing sick house syndrome by not generating harmful volatile organic compounds and its preparation method/ Hong, M. S., Her, M.S., Lee, K.D.//Repub. Korean Kongkae Taeho Kongbo.—2006.— No pp. given.
54. Huang, E.W. Source reduction of VOC and hazardous organic emissions

from wood furniture coatings/ Huang, E.W., McCrillis, R. C. Proceedings, Annual Meeting - Air & Waste Management Association.—1996.—89th ra10603/1-ra10603/10.

55. Development of a test method and investigations for determining emissions from printers and copiers in the framework of the German Environmental Label/ Jann, O., Rockstroh, J., Wilke, O. et al.//*Texte - Umweltbundesamt.*—2003.— 71.—P.i-iv,1-159.

56. Gehr, V. Emissions of volatile organic compounds from recycling papers and their relevance for indoor air quality/ Gehr, V., Jann, O., Soeffge, M., Wilke, O. //*Wochenblatt fuer Papierfabrikation.*—2004.—132(17) .—P.1010-1012,1014.

57. Black, M. S. and Worthan, T. Carpet cleaning and acceptable indoor air quality: A general review of carpet cleaning effectiveness/ M.S. Black, T. Worthan//Annual Meeting & Exhibition Proceedings CD-ROM - Air & Waste Management Association, 92nd, St. Louis, MO, United States, June 20-24, 1999 .— 1999) .— P.3956-3968.

58. Photocatalytic oxidation of volatile organic compounds using fluorescent visible light/ Chapuis, Y., Klvana, D., Guy, C., Kirchnerova, J. //Journal of the Air & Waste Management Association.—2002.— 52(7).—P.845-854.

59. Volatile flavor chemistry of black rice/ Yang D.S., K.S. Lee, O.Y. Jeong et al.// *J. Agri. Food. Chem.* 2007.—in press.

60. Wolff, M., Groninga, H.G., Dressler, M., Harde, H. Photoacoustic sensor for VOCs: First step towards a lung cancer breath test. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering (2005), 5862(Diagnostic Optical Spectroscopy in Biomedicine III), 58620G/1-58620G/7.

61. A proton transfer reaction mass spectrometry based system for determining plant uptake of volatile organic compounds/[ Tani, A., Kato, S., Kajii, Y. et al.]— *Atmospheric Environment* ,2007.—V.41(8). —P.1736-1746.

62. Kato, S. Measurement of volatile organic compounds by proton transfer reaction mass spectrometry/[ Kato, S., Kajii, Y.] *Shinku*, 2004.— V.47(8) .— P.600-605.

# **МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ**

## **Посудин Ю.И.**

Обобщены данные по изучению летучих органических соединений в воздухе помещений, их концентрации и влияния на здоровье человека.

Ключевые слова: ЛЕТУЧИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ, ВОЗДУХ ПОМЕЩЕНИЙ, ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

## **MONITORING INDOOR AIR QUALITY**

**Posudin Yuriy,**

### **Summary**

The focus of this article is on examination of volatile organic compounds (VOCs) in indoor air, their concentration and effects on human health.

Key Words: VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS, INDOOR AIR, HUMAN HEALTH