

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
НА ТЕМУ: «ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ»**

для студентів освітньо-професійних програм «Екологія» та
«Технології захисту навколишнього середовища»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Дніпро
НТУ «ДП»
2021

Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему: «Вимірювання рівня запиленості повітря» для студентів освітньо-професійних програм «Екологія» та «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти» [Текст] / О. О. Борисовська, В. Є. Колесник. НТУ «Дніпровська політехніка». — Дніпро: НТУ «ДП», 2021. — 30 с.

Автори:

О. О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.,

В.Є. Колесник, д-р техн. наук, проф.

Затверджено методичними комісіями зі спеціальностей 101 «Екологія» (протокол №2 від 17.02.2021 р.) та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» (протокол № 2 від 17.02.2021 р.) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 7 від 12.02.2021).

Подано методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему: «Вимірювання рівня запиленості повітря» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, д-р. техн. наук, проф. А. В. Павличенко

Борисовська О.О., В.Є. Колесник
НТУ «Дніпровська політехніка», 2021

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні рекомендації призначені для закріплення теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі, а також формування практичних навичок щодо контролю запиленості повітря.

Методичні рекомендації включають лабораторну роботу, текст якої викладено за типовою структурною схемою – тема, мета роботи, подання теоретичних положень за темою, завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю.

В результаті виконання лабораторної роботи студенти повинні набути практичні навички з:

- ❖ класифікації видів пилу залежно від джерела утворення;
- ❖ класифікації пилу за розміром;
- ❖ класифікації якості повітря за шкалою Європейського агентства з охорони навколишнього середовища;
- ❖ визначення потенційної кількості тонкодисперсного пилу, що може потрапити до організму людини;
- ❖ визначення індексу якості атмосферного повітря AQI, можливих наслідків для здоров'я населення та відповідних застережень;
- ❖ налаштування роботи пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A та вимірювання запиленості повітря за його допомогою.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи: набуття студентами практичних навичок з контролю запиленості повітря.

Поставлена мета досягається послідовним вирішенням наступних **завдань:**

– ознайомлення з загальними положеннями щодо впливу пилу на клімат, здоров'я людини, довкілля та технічні об'єкти;

– ознайомлення з основними методами визначення запиленості повітря та підходами до контролю запиленості повітря, що прийняті у різних країнах світу;

– ознайомлення з будовою, принципом дії та порядком роботи пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A;

– ознайомлення з прикладом розрахунку потенційної кількості тонкодисперсного пилу, що може потрапити до організму людини;

– ознайомлення з прикладом оцінки якості повітря за шкалою Європейського агентства з охорони навколишнього середовища;

– ознайомлення з прикладом розрахунку індексу забруднення атмосфери AQI та визначення категорії якості повітря за цим індексом, а також можливих наслідків для здоров'я людей та відповідних застережень;

– самостійний розрахунок потенційної кількості тонкодисперсного пилу, що може потрапити до організму людини за результатами вимірювання запиленості повітря за допомогою пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A;

– самостійна оцінка якості повітря за шкалою Європейського агентства з охорони навколишнього середовища;

– самостійний розрахунок індексу забруднення атмосфери AQI та визначення категорії якості повітря за цим індексом, а також можливих наслідків для здоров'я людей та відповідних застережень.

1.1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1.1. Загальні положення

Пил – це зважені частинки мінерального, органічного або змішаного походження розміром від 0,1 до 100 мікрметрів (одна тисячна частина міліметра), деякий час «плаваючі» в повітрі на різній висоті. Більш дрібні частинки вважаються димом. За своїм генезисом пил ділиться на земний і космічний, природний і штучний, мінеральний і органічний, рослинний і тваринний, виробничий, комунальний та ін.

Пил, з'єднуючись з водяною парою, різними техногенними газами, створює складну аеродисперсну систему в міському повітрі, що називається *смогом, серпанком, туманом, імлою*.

Основними джерелами пилу в природі є процеси вивітрювання гірських порід з подальшим вітровим переносом дрібних частинок мінерального субстрату і ґрунту з розораних угідь, кар'єрів, насипів. **Друге місце** займають океани, що наповнюють повітря кристалами солей. Коли море хвилюється, в

атмосферу викидаються мікроскопічні крапельки води, висихаючи, вони насичують повітря солями. Вітер піднімає більшість цих кришталіків на значну висоту, де на них, як на ядрах, конденсується водяна пара. Якби пил не з'являвся в повітрі, не існувало б і хмар. **Третє джерело** виникнення пилу у природі – це вулкани.

Техногенний пил утворюється при роботі транспорту і промислових підприємств, згорянні палива на ТЕС, випалюванні цементу, лісових пожежах, у побутових печах і т. п. За хімічним складом пил складається з різних мінералів: силікатів, карбонатів, гіпсу, азбесту. Це, як правило, *природна складова* пилу. Оксиди металів – заліза, марганцю, кадмію, свинцю, ванадію, миш'яку, молібдену сурми, селену та інших важких металів, а також сажі – частіше є *техногенною складовою* пилових фракцій.

Власне антропогенні аерозолі становлять від 10 до 50% вмісту частинок, суспендованих в атмосферному повітрі.

1.1.2. Вплив пилу на клімат

Запиленість атмосфери чинить складний вплив на клімат. Вчені прийшли до висновку, що частина промислового пилу, що викидається в повітря (близько 10%) не випадає з атмосфери, а повітряними течіями виноситься в захмарний простір. Пил, винесений вище хмар, не очищається опадами і сприяє замутненню атмосфери. Він створює напівпрозорий екран, що поглинає та розсіює сонячне випромінювання, зменшуючи його надходження до земної поверхні, від якої саме і прогрівається атмосферне повітря, тобто в кінцевому результаті збільшує відбивну здатність Землі.

Забруднення атмосфери міст аерозолями і газами призводить до суттєвого зменшення сонячної радіації, що досягає земної поверхні. Ультрафіолетова радіація, що має бактерицидну дію, зменшується до 30%, а видима складова сонячної радіації – більш ніж на 50%. При цьому знижується видимість, збільшуються повторюваність туманів, кількість опадів і хмарність, змінюється циркуляція повітряних потоків.

Над містом часто утворюються конвективні струмені, що викликають рух повітряних потоків з периферійних, нерідко промислових, районів до центру міста, що веде до підвищення концентрації шкідливих речовин в центральній його частині.

Треба зазначити, що на відміну від вихлопних газів автотранспорту, пил висить в повітрі на незначній висоті, раз у раз осідає на ґрунт і знову піднімається вітром, тому це шкідливий чинник «багаторазової» дії.

1.1.3. Вплив пилу на здоров'я людини

Розмір частинок пилу безпосередньо пов'язаний з їх потенціалом спричинення проблем зі здоров'ям людей.

У англійській літературі дрібні тверді та рідкі частинки прийнято позначати терміном **Particulate Matter (PM)**, та додавати після аббревіатури розмір цих частинок у *мікрометрах* (тисячні долі міліметра, мкм, 10^{-6} м, $\mu\text{м}$).

Деякі частинки, такі як пил, бруд, сажа або дим, мають досить великі розміри, білий чи темний колір, тому їх можна побачити неозброєним оком. Інші ж настільки малі, що їх можна виявити лише за допомогою електронного мікроскопа (рис. 1.1).

Отже, **PM10** – це частинки тієї або іншої речовини діаметром 10 мікрометрів (мкм) і менше, **PM2.5** – це частинки речовини діаметром 2,5 мкм і менше. У цілому **PM2.5** можна описати як *тонкодисперсні* частинки, а частинки діаметром більше 10 мкм – *грубодисперсні*.



Рис. 1.1. Порівняння розмірів частинок РМ

Частинки діаметром менше 10 мікрометрів (**PM10**) становлять **найбільшу небезпеку**, оскільки вони можуть проникнути у дихальні шляхи людини.

У верхніх дихальних шляхах затримуються більш крупні частинки, а середні (в основному розміром до 5 мкм) і дрібні потрапляють в глибокі відділи дихального тракту, а деякі навіть через бар'єри у легенях можуть потрапити у кровотік. Такі частинки можуть вплинути як на легені, так і на серце.

Численні наукові дослідження пов'язують вплив забруднення пилом з різними проблемами, серед яких:

- передчасна смерть у людей із захворюваннями серця або легенів;
- нефатальні інфаркти;
- нерегулярне серцебиття;
- загострення астми;
- зниження функції легенів;

• посилення респіраторних симптомів, таких як подразнення дихальних шляхів, кашель або утруднене дихання.

Люди, які страждають на серцеві або легеневі захворювання, діти та люди похилого віку найбільш чутливі до негативного впливу пилового забруднення.

Дуже токсичним є пил з'єднань свинцю, цинку, міді, кадмію. Особливо небезпечним є той факт, що дрібні частинки пилу за своєю структурою часто схожі з активованим вугіллям і тому вони вбирають в себе шкідливі речовини з повітря (рис. 1.2). Пил стає особливо небезпечним, коли на частинках адсорбуються токсичні та радіоактивні речовини, патогенні мікроорганізми та віруси.

Існують дані щодо провідної ролі дрібного пилу в прискореному старінні організму і зниженні імунітету.

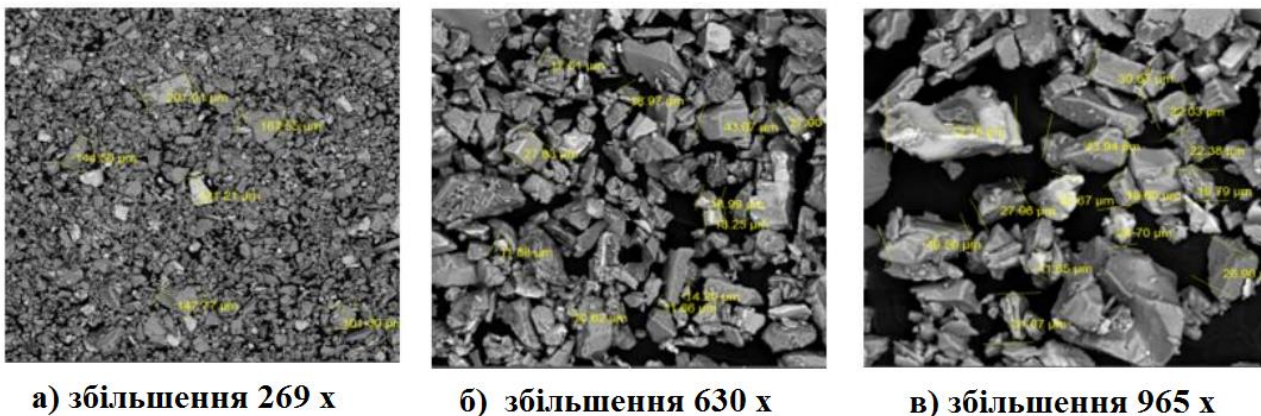


Рис. 1.2. Розміри частинок калійного пилу, що виділяється у процесі видобутку корисної копалини

1.1.4. Вплив пилу на технічні об'єкти

Пил, що виділяється у виробничих приміщеннях через його абразивні властивості призводить до швидкого зносу устаткування. Пил, що міститься в повітрі, руйнівню діє на поршні і циліндри двигунів внутрішнього згорання.

Дуже чутливі до пилу електричні машини. Незахищені обмотки електродвигунів покриваються кіркою, зменшується їх охолодження, і внаслідок їх перегріву двигун може вийти з ладу.

Тверді частки пилу й піску здатні багаторазово збільшувати швидкість абразивного зношування контактуючих поверхонь. Потрапляючи в мастильні матеріали, частки пилу й піску прилипають до шарів захисту поверхні, у результаті спостерігається заїдання або збільшення «мертвого ходу» у підшипниках.

Міцно спікаючись, пил сприяє накопиченню електропровідної вологи й знижує опір ізоляції. Тому захист від пилу в таких виробництвах, як радіо- і електропромисловість, є обов'язковою частиною технологічного процесу.

Пил, що утворюється під час вивантаження транспорту і переробці сипучих навалювальних вантажів, забруднює територію, що примикає до місця вивантаження, і виробничі приміщення і для її прибирання потрібні додаткові

непродуктивні витрати.

1.1.5. Методи визначення запиленості повітря

Для визначення кількості пилу в повітрі застосовують різні методи:

– *ваговий* (гравіметричний), при якому визначення концентрації частинок пилу здійснюють шляхом визначення на аналітичних вагах величини **збільшення маси** аерозольного фільтру (з паперу або тканини), через який попередньо було пропущено певний обсяг досліджуваного повітря;

– *коніметричний*, при якому визначають **число частинок пилу** в певному обсязі відібраної проби атмосферного повітря;

– *фотометричний*, заснований на вимірі **зниження інтенсивності світла**, що проходить через заповнене повітря та ін.

Найчастіше при оцінці запиленості використовується ваговий спосіб. Кількість пилу в повітрі виражають найчастіше в міліграмах на 1 м^3 повітря, або по числу частинок, що містяться в 1 см^3 чи 1 дм^3 повітря.

Під час відбору проб повітря, наприклад на паперовий фільтр (для аналізу запиленості атмосфери гравіметричним методом), на фільтр іноді потрапляють крупні частинки, що не є небезпечними для здоров'я людини. Проте при зважуванні маси пилу вони викривляють кінцевий результат. Тому варто застосовувати гідрофобні фільтри з полімерних матеріалів. У той же час більш дрібні частинки, що являють найбільшу небезпеку для організму людини, часто не вловлюються аерозольним фільтром. Тому поряд із застосуванням гравіметричного методу часто використовують аерозольні лічильники (переважно оптичні або коніметричні), що дають уявлення про крупність та кількість частинок, які містяться у повітрі.

Відомо, що через дихальні шляхи до організму людини заносяться пилові частинки розміром **до 10 мкм**. В основу аерозольних лічильників покладено підрахунок кількості частинок різного розміру, що містяться у одиниці об'єму повітря, наприклад, у 1 дм^3 (літрі). Знаючи це число та об'єм повітря, що є необхідним для вентиляції легенів, можна визначити потенційну кількість пилу, що потрапить до організму людини.

Отже, лічильний метод виступає додатковою характеристикою пилу до стандартного вагового методу. Метод поширений в практиці визначення запиленості повітря в гірничих виробках, може застосовуватися на цементних заводах і в інших галузях промисловості.

1.1.6. Контроль запиленості повітря

В Україні і ряді інших країн гігієнічне нормування і контроль пилового фактора здійснюється за гравіметричними показниками, вираженими в міліграмах на кубічний метр ($\text{мг}/\text{м}^3$), які характеризують **всю масу пилу**, що вітає в зоні дихання з *урахуванням її дисперсності*. При цьому гігієнічно обґрунтовано вимірювання всієї маси пилу з поділом її на дві фракції – тонку і грубу (двоступенева гравіметрія).

Для контролю якості атмосферного повітря в багатьох країнах світу

запропоновано контролювати індекс забруднення **PM2,5** або **FSP** (fine suspended particles), який враховує масовий вміст в повітрі як твердих мікрочастинок, так і дрібних крапельок рідини розміром від 10 нм до 2,5 мкм поряд з **коніметричними даними** – числом частинок в певному обсязі повітря (наприклад, у одному дм^3 або літрі).

Як вже згадувалось раніше, на відміну від більш великих часток, **PM2.5** легко проникають в легені і далі крізь біологічні бар'єри, представляючи найбільшу загрозу для організму. При цьому одночасно контролюють масовий вміст як більш дрібних частинок (**PM1.0** – маса частинок менше 1 мкм), так і більш великих (**PM10** – маса частинок менше 10 мкм).

Контроль вмісту зазначених фракцій пилу в атмосферному повітрі представляється як розвиток методів контролю вмісту пилу в повітрі аж до **визначення її повного дисперсного складу**. Потреба в ньому обумовлена переважно гігієнічними вимогами. Тому при вимірах запиленості запропоновано враховувати криві затримки пилу в легенях людини (рис. 1.3).

Європейське агентство з охорони навколишнього середовища European Environment Agency (EEA, eea.europa.eu) використовує наступну класифікацію якості повітря (табл. 1.1).

Як бачимо, за цим підходом нормується вміст лише частинок пилу діаметром менше 10 мкм (**PM10 – респірабельні частинки**) та менше 2,5 мкм (**PM2.5 – тонкодисперсні частинки**). Одиниці вимірю концентрації частинок пилу за цією методикою – мікрограми на кубічний метр ($\text{мкг}/\text{м}^3$), тобто тисячні долі міліграму.

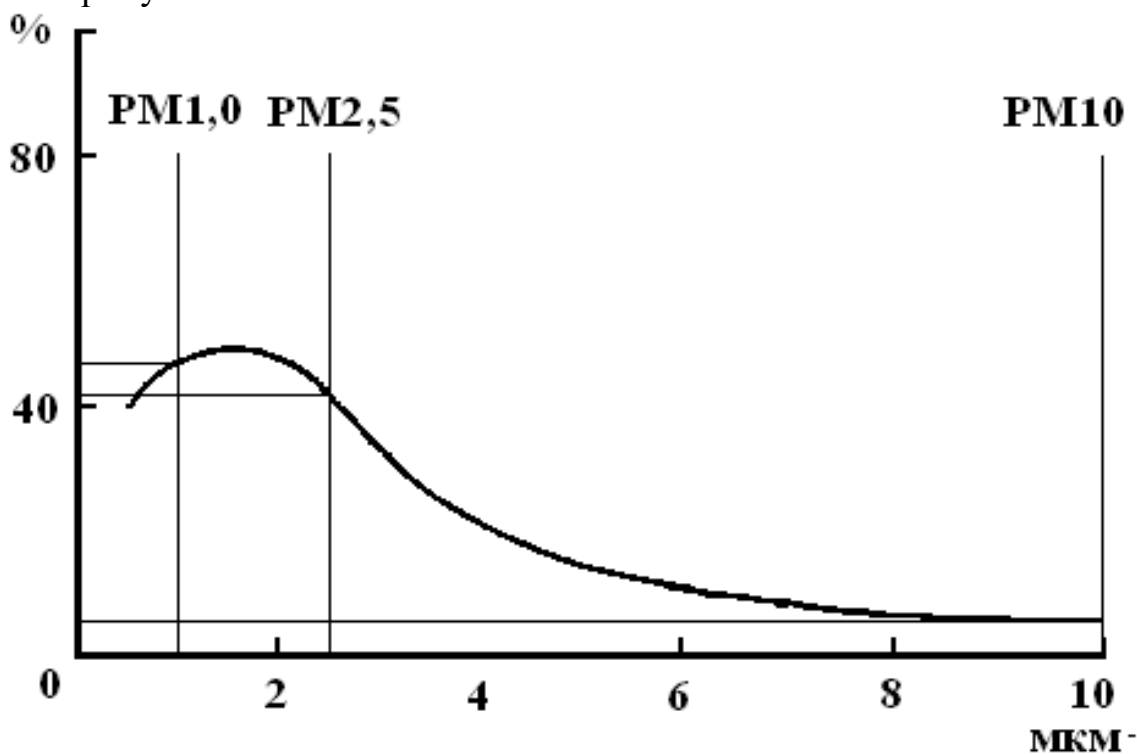


Рис. 1.3. Крива затримки пилу в легенях із зазначенням меж індексів PM: по осі абсцис відкладено аеродинамічний діаметр частинок, а по осі ординат – ступінь затримки частинок, %

Таблиця 1.1 – Класифікація якості повітря ЕЕА

Частинки	Якість повітря				
					
	Дуже гарна	Гарна	Середня	Погана	Дуже погана
Частинки PM2.5 , мкг/м ³	0-10	10-20	20-25	25-50	50-800
Частинки PM10 , мкг/м ³	0-20	20-35	35-50	50-100	100-1200

У якості комплексного показника в США та інших країнах використовується індекс якості атмосферного повітря (Air Quality Index – **AQI**). Індекс якості атмосферного повітря розраховується на основі індексів концентрації 5 основних забруднюючих речовин: пил, O₃, CO, SO₂, NO₂.

У табл. 1.2 наведені категорії індексу якості атмосферного повітря, можливі наслідки для здоров'я населення та відповідні застереження.

Таблиця 1.2 – Індекс якості атмосферного повітря (Air Quality Index – **AQI**)

ІQA		Категорія	Наслідки для здоров'я	Застереження
0 - 50		Добрий	Якість повітря вважається задовільною і забруднення повітря становить незначний ризик або не становить ризику взагалі	Немає
51 - 100		Помірний	Якість повітря є прийнятною; однак, для деяких забруднюючих речовин може спостерігатися помірна загроза здоров'ю для дуже невеликої кількості людей, що незвично чутливі до забруднення повітря	Активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні обмежувати тривале навантаження назовні
101-150		Нездоровий для чутливих груп	Люди з чутливими органами дихання можуть відчувати дискомфорт. Здорові люди скоріше за все не відчують впливу	Активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні обмежувати тривалі фізичні вправи на вулиці

IQA		Категорія	Наслідки для здоров'я	Застереження
151 - 200		Нездоровий	Кожен може почати зазнавати впливу на здоров'я; члени чутливих груп можуть мати серйозніші наслідки для здоров'я	Активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні уникати тривалої активності на вулиці; всі інші, особливо діти, повинні обмежувати тривалість активності на вулиці
201 - 300		Дуже нездоровий	Попередження про небезпеку для здоров'я, надзвичайна ситуація. Все населення, швидше за все, зазнає впливу	Активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні уникати будь-яких фізичних навантажень на вулиці; всі інші, особливо діти, повинні обмежувати навантаження назовні
301 - 500		Небезпечний	Небезпека: будь-хто може зазнати більш серйозних наслідків для здоров'я	Кожен повинен уникати будь-якого зовнішнього навантаження

Формула розрахунку значення індексу забруднення атмосфери **AQI** виглядає наступним чином:

$$AQI = (I_{high} - I_{low} / C_{high} - C_{low}) (C - C_{low}) + I_{low}, \quad (1.1)$$

де C – усереднена концентрація забруднюючої речовини, мкг/м^3 ; C_{high} – межа інтервалу, більша або рівна C , мкг/м^3 ; C_{low} – межа інтервалу, менша C , мкг/м^3 ; I_{high} – значення **AQI**, відповідне C_{high} ; I_{low} – значення **AQI**, відповідне C_{low} .

У таблиці 1.3 наведені межі інтервалів концентрацій частинок **PM_{2.5}** та **PM₁₀** для розрахунку індексу забруднення атмосфери **AQI**.

У 2020 році в Україні було оновлено нормативну базу у галузі нормування якості повітря і був затверджений Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 52 від 14.01.2020 р. «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць».

Таблиця 1.3 – Граничні концентрації частинок пилу для визначення AQI

PM _{2.5} (мкг/м ³)	PM ₁₀ (мкг/м ³)	AQI	
$C_{low} - C_{high} (avg)$	$C_{low} - C_{high} (avg)$	$I_{low} - I_{high}$	Категорія
0,0-12,0	0-54	0-50	Добрий
12,1-35,4	55-154	51-100	Помірний
35,5-55,4	155-254	101-150	Нездоровий для чутливих груп
55,5-150,4	255-354	151-200	Нездоровий
150,5-250,4	355-424	201-300	Дуже нездоровий
250,5-500,4	425-604	301-500	Небезпечний

Гранично допустимі концентрації різних видів пилу з цього документу наведені у таблиці 1.4.

ГДК різних видів пилу та клас їх небезпеки може суттєво відрізнятися один від одного. Так, пил, що містить азбест або свинець, відноситься до **першого класу небезпеки**, а пил, що містить борошно, зерно, або двоокис кремнію (кварц) – до **третього класу небезпеки**.

Також ГДК пилу залежить від вмісту двоокису кремнію: чим вищий його вміст у пилу, тим меншим має бути концентрація частинок такого пилу у повітрі.

І ще треба звернути увагу на *примітки до таблиці* з гігієнічними регламентами – якщо пил є недиференційованим за складом, допускається приймати значення максимальної разової ГДК на рівні 0,5 мг/м³, середньодобової ГДК – на рівні 0,15 мг/м³.

Таблиця 1.4 – Гранично допустимі концентрації різних видів пилу в атмосферному повітрі населених місць

№ з/п	Найменування речовини	Гранично допустима концентрація, мг/м ³		Клас небезпеки
		максимально разова	середньодобова	
363.	Пил азбестовмісний (з вмістом хризотилазбесту до 10 %) за азбестом	-	0,06 волокон в 1 мл повітря	1
364.	Пил бавовни	0,2	0,05	3
365.	Пил зерновий	0,2	0,03	3
366.	Пил каїніту	0,5	0,1	3
367.	Пил калімагнезії (калімаг-40)	0,5	0,15	3
368.	Пил неорганічний, що містить двоокис кремнію в %: - більше 70 (дінас та ін.)	0,15	0,05	3
369.	- 70-20 (шамот, цемент та ін.)	0,3	0,1	3
370.	- нижче 20 (доломіт та ін.)	0,5	0,15	3
371.	Пил поліметалічний свинцево-	-	0,0001	1

№ з/п	Найменування речовини	Гранично допустима концентрація, мг/м ³		Клас небезпеки
		максимально разова	середньодобова	
	цинкового виробництва (з вмістом свинцю до 1 %)			
372.	Пил цементного виробництва (з вмістом оксиду кальцію більше 60 % і діоксиду кремнію більше 20 %)	-	- 0,02	3

Примітки: 1) у випадках визначення недиференційованого за складом пилу (аерозолю) допускається приймати значення ГДК: максимальної разової – 0,5 мг/м³, середньодобової – 0,15 мг/м³, 3-й клас небезпечності; ці значення не стосуються аерозолів органічних і неорганічних сполук (металів, їх солей, пластмас, біологічних, лікарських препаратів і ін.), для яких встановлюються відповідні ГДК;

2) загальна запиленість, що створюється викидами підприємств і інших об'єктів з вмістом твердих аерозолів різних хімічних сполук, у повітряному середовищі навколишньої житлової забудови не повинна перевищувати ГДК, встановленої для недиференційованого за складом пилу.

1.1.7. Будова і принцип дії пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A

Walcom SR-516A – універсальний пиломір-аналізатор для визначення температури, вологості та рівня AQI (рівень забруднення повітря) при розмірі частинок пилу 0,3 мкм, 0,5 мкм, 1,0 мкм, 2,5 мкм, 5,0 мкм і 10 мкм за принципом розсіювання лазерного випромінювання на окремих частинках.

Лазер підсвічує вибірку повітряного середовища, яка надходить в вимірювальну камеру пиломіру (рис. 1.4). Частинки проходять по лазерному променю, створюючи відображені потоки, які фіксуються і реєструються фотодетектором. Потім дані перетворюються в імпульсний електричний сигнал і відбувається розрахунок масової концентрації частинок в повітрі.

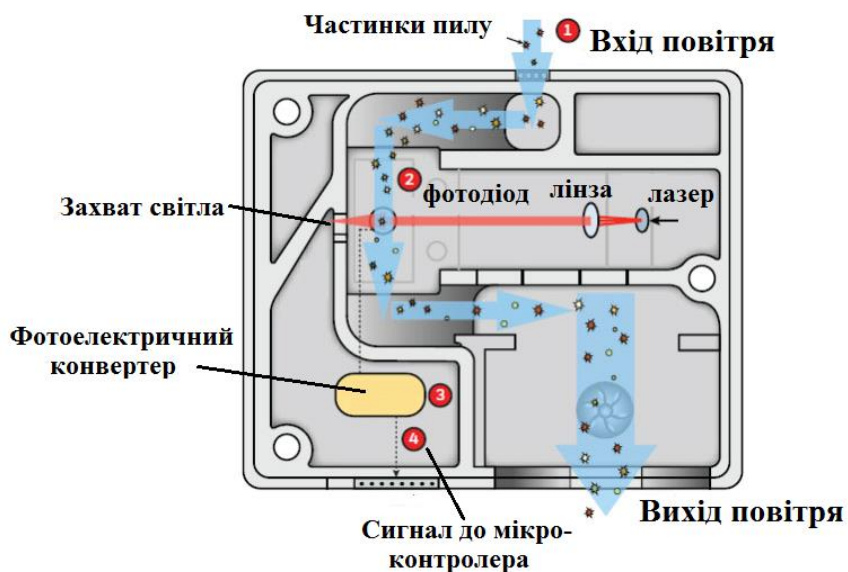


Рис. 1.4. Принцип дії пиломіру

Вентилятор засмоктує повітря через сепаратор грубого пилю у вимірювальний простір пиломіру. Частинки проходять через лазерний пучок, а ослаблене ними світло вимірюється фотоприймачем. Фотодіод передає дані в фотоелектричний перетворювач імпульсних сигналів. Сигнали передаються в мікроконтролер. Він обробляє дані і перетворює їх у рівень поточної масової концентрації пилових частинок в повітрі (у мкг/м³).

Для обробки отриманої інформації використовується мікропроцесор. Він же використовується для зберігання інформації, дозволяючи в будь-який час звертатися до результатів минулих вимірів.

Прилад оснащений 3,2-дюймовим кольоровим TFT-дисплеєм та внутрішньою пам'яттю на 99 результатів вимірювання. Літійовий акумулятор та окремі зовнішній зарядний пристрій забезпечують використання приладу більше 8000 годин зі стабільними результатами. Пиломір-аналізатор здатний здійснювати автоматичне й ручне вимірювання в режимі реального часу.

Галузі застосування пиломіра Walcom SR-516A:

- санітарно-гігієнічний контроль атмосфери, атестація робочих місць, житлових приміщень і будівель;
- контроль викидів цементного виробництва, перевалка сипучих матеріалів, вимірювання концентрації частинок пилю в металургії, виробництві скла, електроніки, хімічних продуктів, ліків, теплоенергетика та ін.;
- випробування фільтраційної герметизації об'єктів і споруд;
- проведення досліджень із забруднення мікрочастинками в лабораторних умовах.

У таблиці 1.5 наведені основні технічні характеристики приладу.

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A

Параметр	Показники	Одиниці вимірювання
Діапазон вимірювання розмірів частинок речовини	0,3; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0	мкм
Підрахунок ефективності	50% при $\varnothing < 0,3$ мкм 98% при $\varnothing \geq 0,5$ мкм	мкм
Ефективний вимірюваний інтервал масової концентрації речовини (стандартне значення PM2.5)	0-500	мкг/м ³
Роздільна здатність масової концентрації частинок	1	мкг/м ³
Похибка вимірювань	$\pm 10\%$ при 100-500 мкг/м ³ ± 10 мкг/м ³ при 0-100 мкг/м ³	мкг/м ³
Діапазон робочої температури	-10...+60 °C (14...140 °F)	°C/°F
Діапазон робочої вологості	0...99 %	%
Діапазон температур при зберіганні	-40...+80 °C (-40...176 °F)	°C/°F
Діапазон вимірювання температури	-20...+60 °C (-4...140 °F)	°C/°F
Похибка вимірювання температури	± 1	°C
Роздільна здатність при вимірюванні	0,01	°C/°F

Параметр	Показники	Одиниці вимірювання
температури		
Діапазон вимірювання вологості	0...100 %	% RH*
Похибка вимірювання вологості	±2 %	% RH
Роздільна здатність при вимірюванні вологості	0,01	% RH
Батарея живлення	вбудована із знімним акумулятором 3,7 В/18650 або підключення зовнішнього джерела живлення 5 В через USB	3,7 В/5 В
Робочий струм	180 мА	мА
Термін служби акумулятора	2200 мА годин, здатний до безперервної роботи більше 9 годин	години
Тривалість зарядки	3 години	години
Автоматичне вимкнення живлення	можливість встановлення автоматичного вимкнення пристрою (за заводськими налаштуваннями автоматичне відключення живлення за 15 хв.)	хвилини
Внутрішня пам'ять	99 значень	значення
Вага	191 г	г
Габарити	140x134x33 мм	мм

Примітка: *Relative Humidity – відносна вологість.

На рисунку 1.5 зображений зовнішній вигляд піломіру Walcom SR-516A, а на рисунку 1.6 – опис кнопок приладу.

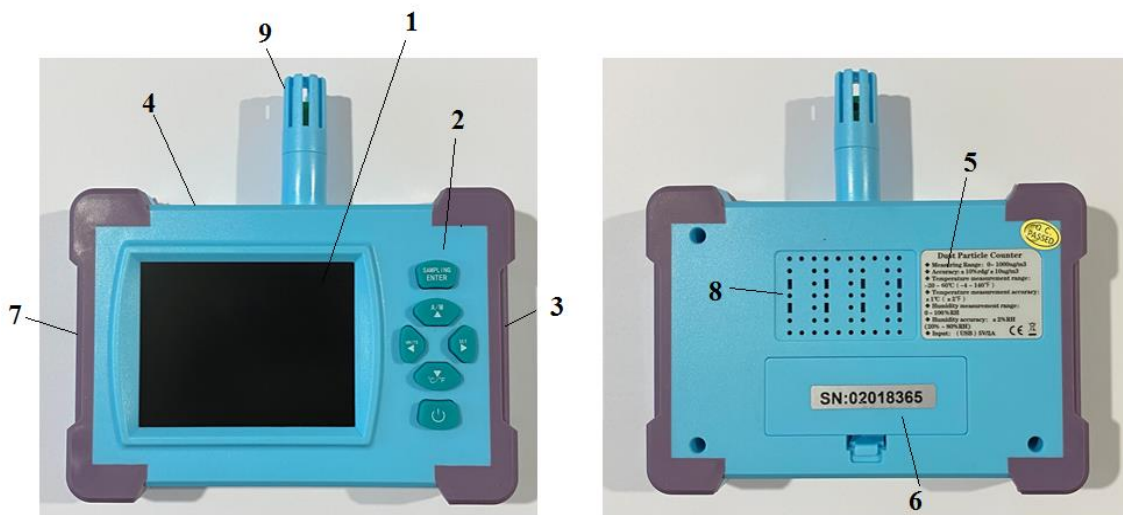
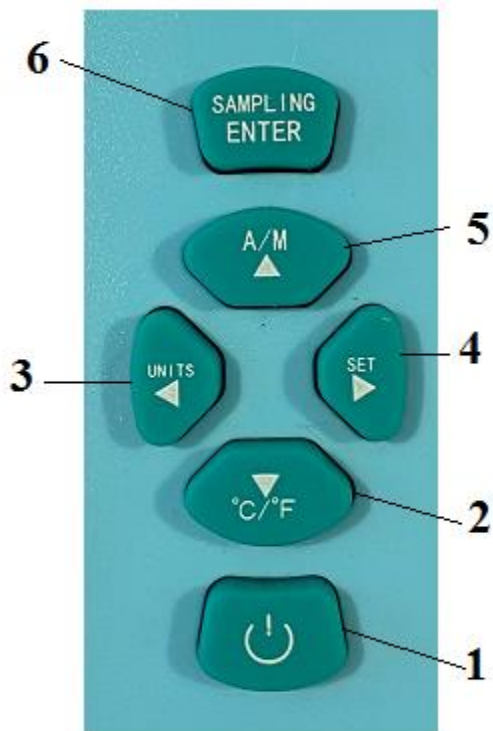


Рис. 1.5. Зовнішній вигляд піломіру Walcom SR-516A

1 – дисплей пристрою; 2 – кнопки управління; 3 – USB-інтерфейс; 4 – вікно повітряного потоку; 5 – мітка з технічними характеристиками приладу; 6 – відсік для акумулятора; 7 – вікно повітряного потоку; 8 – вікно повітряного потоку; 9 – датчик температури та вологості.



- 1 – Кнопка включення / вимкнення пристрою;
- 2 – Переключення одиниць температури + переміщення у меню «Вниз»;
- 3 – Переключення категорій підрахунку / категорій зважування + переміщення між даними або їх видалення;
- 4 – Запис або налаштування + переміщення між даними;
- 5 – Ручне вимірювання / автоматичне вимірювання + переміщення у меню «Вгору»;
- 6 – Ручний відбір проб або автоматичне встановлювання інтервалу часу вимірювання + вибір пунктів меню.

Рис. 1.6. Опис функцій кнопок пиломіру

На рис. 1.7 для наочності представлені характерні значення масових індексів PM1,0; PM2,5 і PM10 в повітрі приміщень кафедри екології та ТЗНС НТУ «ДП», отримані пиломіром Walcom SR-516A.

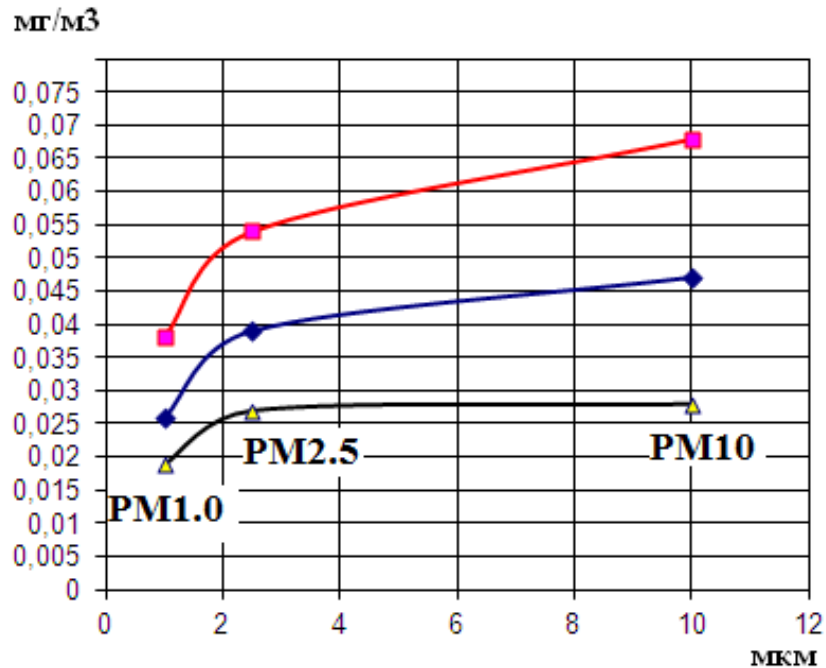


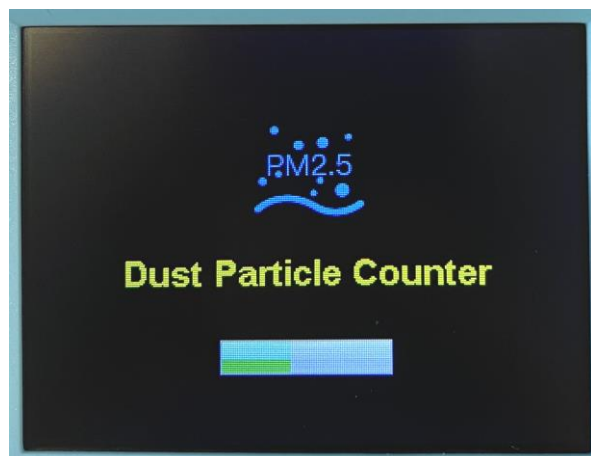
Рис. 1.7. Характерні значення і взаємний зв'язок масових індексів PM1,0; PM2,5 і PM10, отриманих за допомогою пиломіру в повітрі приміщень кафедри екології та ТЗНС

1.1.8. Виконання вимірювань

Увімкнення або вимкнення живлення

Коротко натисніть один раз кнопку **1** (Вмикання/вимикання), щоб увімкнути або вимкнути живлення пристрою.

При натисненні кнопки **1** прилад вмикається



Прилад ввімкнено



Вимірювання

Коротко натисніть один раз кнопку **6** (**Sampling enter**), щоб розпочати тестування вибірки.

Відбір проб становить 51 секунду, час відліку можна побачити у лівому нижньому куті дисплею.

Зміна режимів підрахунку та зважування

Коротко натисніть один раз кнопку **3** (**Units**), щоб перейти у режим зважування у мікрограмах на кубічний метр або у режим підрахунку у частинках на дм³ (літр).

При натисненні кнопки **3** – режим зважування, мкг/м³



При натисненні кнопки **3** – режим підрахунку, частинок/дм³



Зміна одиниць вимірювання температури

Коротко натисніть один раз кнопку **2** (°C/°F), щоб перейти до градусів

Цельсію або градусів Фаренгейту.

При натисненні кнопки **2** –
градуси Фаренгейту



При натисненні кнопки **2** –
градуси Цельсію



Зміна ручного та автоматичного режиму вимірювань

Коротко натисніть один раз кнопку **5** (A/M), щоб перейти до автоматичного або ручного режиму вимірювання.

При натисненні кнопки **5** –
автоматичний режим



При натисненні кнопки **5** –
ручний режим



Встановлення автоматичних інтервалів вимірювання

Під час автоматичного вимірювання (CM Mode) натисніть один раз кнопку **6** (Sampling enter), щоб перейти до параметрів часу, та за допомогою кнопок «Вгору» та «Вниз» виберіть відповідний час і знову натисніть кнопку **6** (Sampling enter) для підтвердження вибору та повернення у меню.

1) Автоматичний режим



2) При натисненні кнопки **6 (Sampling enter)** випадає вікно вибору інтервалу часу



3) При натисненні кнопки **5 («Вгору»)** відбувається переміщення між можливими інтервалами



4) При повторному натисненні кнопки **6 (Sampling enter)** відбувається запис обраного інтервалу



Перегляд записів в історії

Натисніть один раз кнопку **4 (Set)** і потім натисніть кнопку **6 (Sampling enter)**, щоб перейти до меню «Записи» (**Records**), використовуйте кнопки «Вправо» (**4**) і «Вліво» (**3**) для переключення між порядками номерів записів (десятки та одиниці), а також «Вгору» (**5**) і «Вниз» (**2**), щоб переглянути сторінки записів.

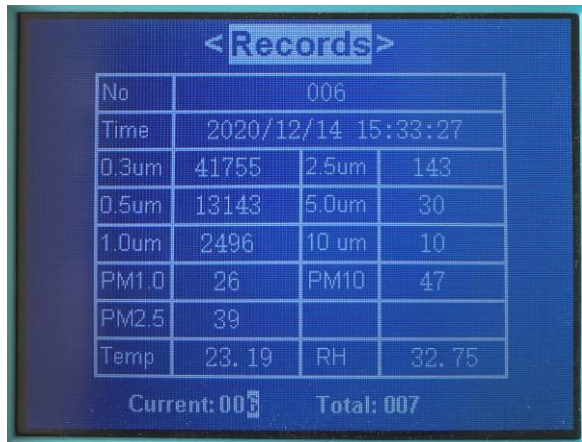
1) При натисканні кнопки **4 (Set)** з'являється меню записів вимірювання

< Records >			
No	001		
Time	2020/12/23 13:05:09		
0.3um	38646	2.5um	255
0.5um	11939	5.0um	35
1.0um	2461	10 um	31
PM1.0	25	PM10	49
PM2.5	40		
Temp	22.34	RH	34.68

2) При натисненні кнопки **6 (Sampling enter)** з'являється інформація про записи вимірювань

< Records >			
No	001		
Time	2020/12/22 12:16:00		
0.3um	43869	2.5um	218
0.5um	13560	5.0um	35
1.0um	2552	10 um	4
PM1.0	27	PM10	49
PM2.5	40		
Temp	22.25	RH	33.90
Current: 001		Total: 007	

3) Кнопки «Вправо» (4) і «Вліво» (3), «Вгору» (5) і «Вниз» (2) дають можливість переглянути до 99 записів



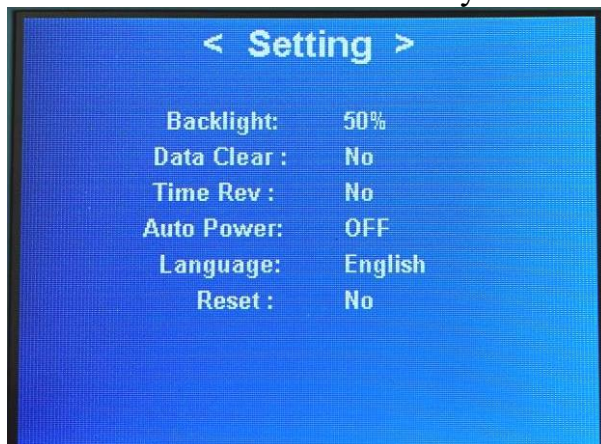
4) Для повернення на головний екран треба натиснути один раз кнопку 6 (Sampling enter), а потім двічі – кнопку 4 (Set)



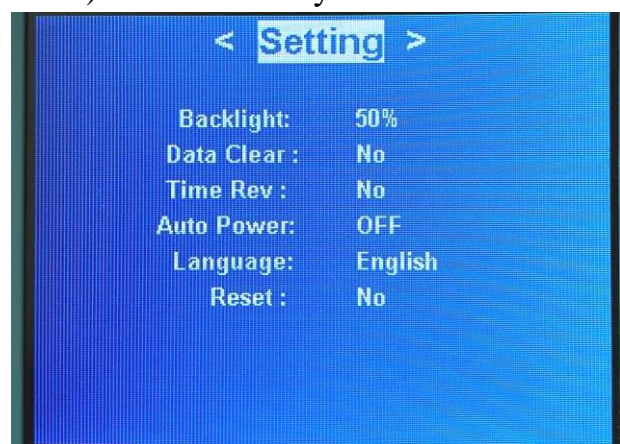
Налаштування параметрів

Натисніть кнопку 4 (Set) двічі, а потім натисніть клавішу 6 (Sampling enter) один раз, щоб перейти до меню «Налаштування» (Setting).

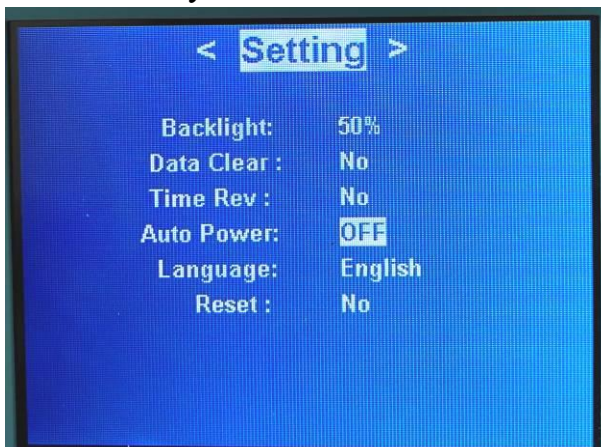
1) При натисканні кнопки двічі 4 (Set) з'являється меню налаштувань



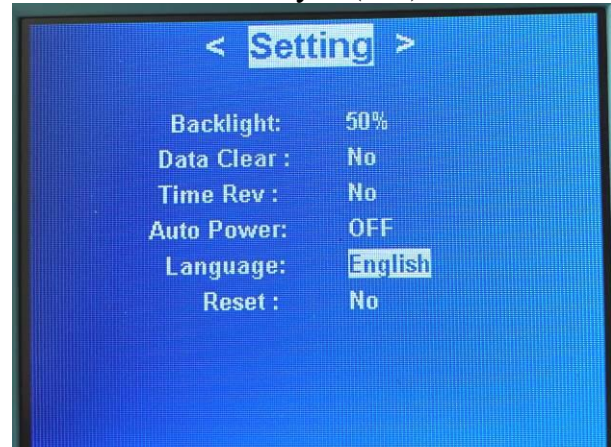
2) При натисненні кнопки 6 (Sampling enter) меню налаштувань стає активним



3) Кнопки «Вправо» (4) і «Вліво» (3), «Вгору» (5) і «Вниз» (2) дають можливість переходити між пунктами налаштування та змінювати їх



4) Для повернення на головний екран треба натиснути один раз кнопку 6 (Sampling enter), а потім один раз – кнопку 4 (Set)



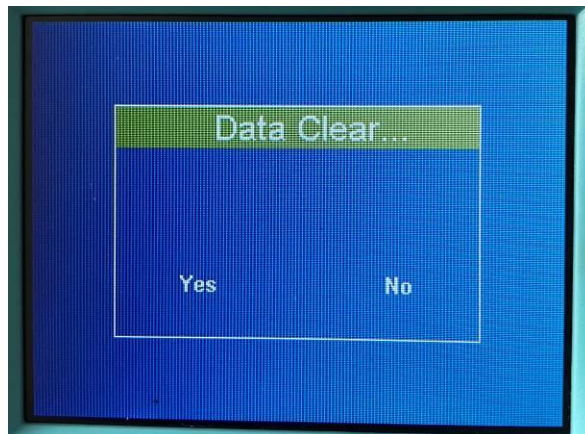
Очищення записів

Використовуйте кнопки «Вправо» (4) і «Вліво» (3), «Вгору» (5) і «Вниз» (2) до переходу до меню очищення даних.

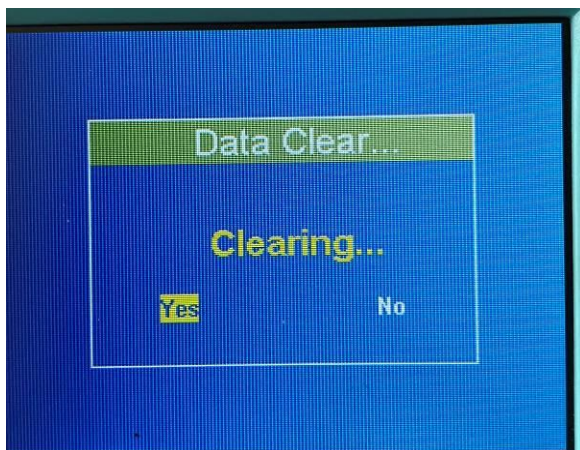
1) Після активації меню Налаштувань кнопкою «Вниз» (2) спускаємось до пункту меню «Очищення записів»



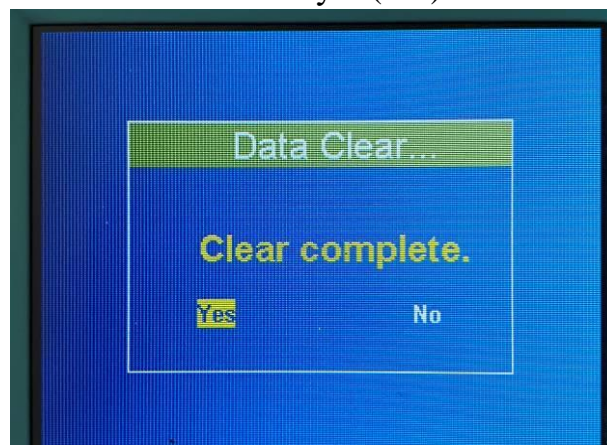
2) При натисненні кнопки «Вправо» (4) з'являється можливість вибору опції



3) Натискаємо кнопку «Вліво» (3) і починається процес видалення записів



4) Видалення записів завершено. Для повернення на головний екран натискаємо кнопку 6 (Sampling enter) та кнопку 4 (Set)



1.1.9. Заходи безпеки

Під час тестування не можна жодним чином блокувати вікно повітряного потоку.

Для збереження цілісності приладу й відповідного терміну експлуатації не можна його використовувати у надто запиленому або агресивному газовому середовищі, під дією високих температур, підвищеної вологості, горючих і вибухонебезпечних речовин та сильних електромагнітних полів.

Треба вчасно заряджати акумулятор та за тривалого зберігання виймати його.

Для догляду за приладом треба використовувати м'яку тканину і нейтральні засоби для очищення корпусу. Не можна використовувати абразивні речовини або розчини для чищення приладу, щоб не викликати корозію корпусу та пошкодження пристрою.

1.2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

1.2.1. Приклад виконання завдання

Завдання:

1. Виконати вимірювання концентрації частинок тонкого пилу в атмосферному повітрі за допомогою пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A. Визначити потенційну кількість тонкодисперсного пилу, що може потрапити до організму людини.
2. Оцінити якість повітря за шкалою Європейського агентства з охорони навколишнього середовища.
3. Розрахувати індекс забруднення атмосфери AQI. Визначити категорію якості повітря за індексом AQI, можливі наслідки для здоров'я людей та відповідні застереження.

Хід виконання роботи:

- 1) Вмикаємо прилад, переводимо його у ручний режим вимірювання (див. п. 1.1.8), проводимо відбір проби протягом 51 с, після чого заходимо у меню записів результатів та переходимо до їх аналізу.

Наприклад, були отримані наступні результати вимірювання (рис. 1.8):

No	006		
Time	2020/12/14 15:33:27		
0.3um	41755	2.5um	143
0.5um	13143	5.0um	30
1.0um	2496	10 um	10
PM1.0	26	PM10	47
PM2.5	39		
Temp	23.19	RH	32.75

Current: 006 Total: 007

Рис. 1.8. Результати вимірювання концентрації частинок пилу за допомогою пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A

Проаналізуємо цей запис. Після номеру запису (006) та дати і часу (14.12.2020, 15:33:27) ми бачимо три рядки с коніметричними даними – кількістю пилинок різного розміру в 1 дм³ (літрі) повітря:

Розмір частинок	Кількість частинок, шт.	Розмір частинок	Кількість частинок, шт.
0,3 μм	41755	2,5 μм	143
0,5 μм	13143	5,0 μм	30
1,0 μм	2496	10 μм	10

Ми пам'ятаємо, що у верхніх дихальних шляхах затримуються більш крупні частинки (у носоглотці – до 60 мкм), а тонкі частинки (в основному розміром до 5 мкм) і найбільш дрібні потрапляють в глибокі відділи дихального тракту.

Знаючи це число та об'єм повітря, що є необхідним для вентиляції легенів, визначимо потенційну кількість тонкодисперсного пилу, що може потрапити до організму людини.

Безперервну зміну повітря в легенях називають *легеневою вентиляцією*. Її показником може бути хвилинний об'єм легенів, тобто кількість повітря, що видихається за хвилину. У жінок величина хвилинного об'єму може дорівнювати 3-5 дм³ (л), а у чоловіків – 6-8 дм³ (л).

Підрахуємо кількість частинок пилу в 1 дм³ (літрі) повітря із розмірами 2,5 мкм та менше і помножимо цю кількість на середній хвилинний об'єм легенів жінок та чоловіків. Результати розрахунків занесемо у таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати розрахунків кількості тонкодисперсного пилу

Найменування показника	Значення
Кількість частинок відповідного розміру, шт.	
– 0,3 μм	41755
– 0,5 μм	13143
– 1,0 μм	2496
– 2,5 μм	143
Разом, шт.	57 537
Хвилинний об'єм легенів, дм ³ /хв.:	
- у жінок,	3-5 (у середньому 4)
- у чоловіків	6-8 (у середньому 7)
Кількість частинок тонкодисперсного пилу, що потенційно щохвилини може потрапити до організму, шт.:	
- жінки;	230 148
- чоловіка	402 759

2) Визначаємо якість повітря за шкалою Європейського агентства з охорони навколишнього середовища. Для цього треба звернути увагу на два наступних рядка показань приладу (рис. 1.9) – це результати розрахункового визначення концентрації частинок пилу у мікрограмах на кубічний метр.

<Records>			
No	006		
Time	2020/12/14 15:33:27		
0.3um	41755	2.5um	143
0.5um	13143	5.0um	30
1.0um	2496	10 um	10
PM10	26	PM10	47
PM2.5	39		
Temp	23.19	RH	32.75
Current: 005		Total: 007	

Рис. 1.9. Результати розрахункового визначення концентрації частинок пилу у мікрограмах на кубічний метр

З цих даних нас цікавить концентрація тонкодисперсних частинок пилу – **PM2.5** та респірабельних частинок пилу – **PM10**.

Вони становлять відповідно 39 та 47 мкг/м³.

За таблицею 1.1 визначаємо, що на досліджуваній території якість повітря має середнє значення між 3 та 4 категорією – між **середньою та поганою якістю**.

З точки зору безпеки людей доцільно зупинитися на більш загрозливій характеристиці якості повітря (погана якість повітря), щоб прийняти відповідні заходи, адже краще переоцінити небезпеку, ніж недооцінити її.

3) Розраховуємо індекс забруднення атмосфери **AQI** за формулою (1.1). Для цього звернемося до таблиці 1.3 з граничними концентраціями частинок пилу для визначення **AQI**.

У випадку з частинками PM2.5:

C – усереднена концентрація забруднюючої речовини, $C = 39$ мкг/м³;

C_{high} – межа інтервалу, більша або рівна C , з таблиці 1.3 $C_{high} = 55,4$ мкг/м³;

C_{low} – межа інтервалу, менша C , з таблиці 1.3 $C_{low} = 35,5$ мкг/м³;

I_{high} – значення AQI, відповідне C_{high} , з таблиці 1.3 $I_{high} = 150$;

I_{low} – значення AQI, відповідне C_{low} , з таблиці 1.3 $I_{low} = 101$.

Підставляємо ці дані у формулу (1.1):

$$AQI = (I_{high} - I_{low} / C_{high} - C_{low}) (C - C_{low}) + I_{low}, = \\ = [(150 - 101) / (55,4 - 35,5)] \cdot (39 - 35,5) + 101 = \mathbf{110}.$$

Отже, за показником **PM2.5** категорія індексу забруднення атмосфери є **нездоровою для чутливих груп**. Звернемося до таблиці 1.2 по можливій наслідки для здоров'я людей та відповідні застереження.

Наслідки для здоров'я: люди з чутливими органами дихання можуть відчувати дискомфорт. Здорові люди скоріше за все не відчують впливу.

Застереження: активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні обмежувати тривалі фізичні вправи на вулиці.

У випадку з частинками PM10:

C – усереднена концентрація забруднюючої речовини, $C = 47$ мкг/м³;

C_{high} – межа інтервалу, більша або рівна C , з таблиці 1.3 $C_{high} = 54$ мкг/м³;

C_{low} – межа інтервалу, менша C , з таблиці 1.3 $C_{low} = 0$ мкг/м³;

I_{high} – значення AQI, відповідне C_{high} , з таблиці 1.3 $I_{high} = 50$;

I_{low} – значення AQI, відповідне C_{low} , з таблиці 1.3 $I_{low} = 0$.

Підставляємо ці дані у формулу (1.1):

$$AQI = (I_{high} - I_{low} / C_{high} - C_{low}) (C - C_{low}) + I_{low}, = \\ = [(50 - 0) / (54 - 0)] \cdot (47 - 0) + 0 = \mathbf{44}.$$

Отже, за показником **PM10** категорія індексу забруднення атмосфери є **доброю**. Звернемося до таблиці 1.2 по можливій наслідки для здоров'я людей та відповідні застереження.

Наслідки для здоров'я: якість повітря вважається задовільною і забруднення повітря становить незначний ризик або не становить ризику взагалі.

Застереження: Немає.

З точки зору безпеки людей також доцільно обрати більш насторожуючий результат оцінки, щоб не упустити можливі фактори небезпеки забрудненості повітря.

ВИСНОВКИ: повітря у дослідженій точці є досить запиленим. Щохвилини при диханні у такому повітрі до організму жінки може потрапити **230 148** частинок тонкодиспесного пилу, до організму чоловіка – **402 759** пилинок.

За шкалою Європейського агентства з охорони навколишнього середовища повітря має **погану якість**.

За індексом забруднення атмосфери **AQI** повітря є **нездоровим для чутливих груп**.

Можливі наслідки для здоров'я: люди з чутливими органами дихання можуть відчувати дискомфорт. Здорові люди скоріше за все не відчують впливу.

Застереження: активні діти та дорослі, а також люди з респіраторними захворюваннями, такими як астма, повинні обмежувати тривалі фізичні вправи на вулиці.

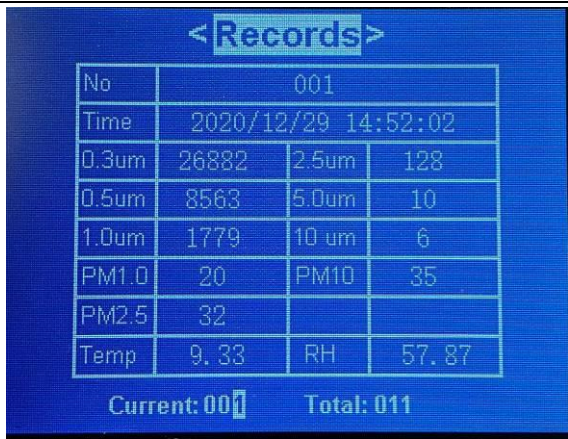
1.2.2. Контрольне завдання

1. Виконати вимірювання концентрації частинок респірабельного пилу в атмосферному повітрі за допомогою пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A. Результати вимірювань наведені у табл. 1.7. Номер варіанта для розрахунку вибирається згідно з номером студента за списком в журналі.

2. Оцінити якість повітря за шкалою Європейського агентства з охорони навколишнього середовища.

3. Розрахувати індекс забруднення атмосфери AQI. Визначити категорію якості повітря за індексом AQI, можливі наслідки для здоров'я людей та відповідні застереження.

Таблиця 1.7 – Результати вимірювань запиленості повітря

Варіант 1				Варіант 2			
							
No	001			No	002		
Time	2020/12/29 14:52:02			Time	2020/12/29 14:50:28		
0.3um	26882	2.5um	128	0.3um	18771	2.5um	100
0.5um	8563	5.0um	10	0.5um	5866	5.0um	31
1.0um	1779	10 um	6	1.0um	1181	10 um	18
PM1.0	20	PM10	35	PM1.0	14	PM10	24
PM2.5	32			PM2.5	22		
Temp	9.33	RH	57.87	Temp	19.80	RH	35.29
Current: 001 Total: 011				Current: 002 Total: 011			

Варіант 3

<Records>			
No	003		
Time	2020/12/29 14:49:21		
0.3um	31594	2.5um	141
0.5um	9843	5.0um	61
1.0um	1829	10 um	18
PM1.0	22	PM10	37
PM2.5	32		
Temp	20.03	RH	37.29
Current: 003		Total: 011	

Варіант 4

<Records>			
No	004		
Time	2020/12/29 14:47:37		
0.3um	49544	2.5um	361
0.5um	15364	5.0um	30
1.0um	3261	10 um	5
PM1.0	28	PM10	52
PM2.5	42		
Temp	21.71	RH	36.00
Current: 004		Total: 011	

Варіант 5

<Records>			
No	005		
Time	2020/12/29 14:46:38		
0.3um	59272	2.5um	326
0.5um	18459	5.0um	10
1.0um	3611	10 um	5
PM1.0	31	PM10	59
PM2.5	47		
Temp	21.53	RH	34.64
Current: 005		Total: 011	

Варіант 6

<Records>			
No	006		
Time	2020/12/29 14:45:25		
0.3um	60982	2.5um	172
0.5um	19078	5.0um	100
1.0um	3477	10 um	57
PM1.0	32	PM10	62
PM2.5	48		
Temp	22.05	RH	34.95
Current: 006		Total: 011	

Варіант 7

<Records>			
No	007		
Time	2020/12/29 14:44:16		
0.3um	40870	2.5um	206
0.5um	12673	5.0um	21
1.0um	2008	10 um	4
PM1.0	25	PM10	46
PM2.5	38		
Temp	22.93	RH	34.26
Current: 007		Total: 011	

Варіант 8

<Records>			
No	009		
Time	2020/12/29 14:39:33		
0.3um	32780	2.5um	163
0.5um	10225	5.0um	7
1.0um	1795	10 um	3
PM1.0	22	PM10	39
PM2.5	35		
Temp	22.63	RH	37.22
Current: 009		Total: 011	

Варіант 9				Варіант 10			
<Records>				<Records>			
No	010			No	011		
Time	2020/12/29 11:51:02			Time	2020/12/24 16:04:47		
0.3um	17384	2.5um	111	0.3um	21848	2.5um	66
0.5um	5453	5.0um	7	0.5um	6839	5.0um	7
1.0um	1118	10 um	3	1.0um	670	10 um	3
PM1.0	13	PM10	25	PM1.0	15	PM10	24
PM2.5	23			PM2.5	23		
Temp	21.26	RH	36.98	Temp	21.92	RH	31.13
Current: 01		Total: 011		Current: 01		Total: 011	

Питання для самоконтролю

1. Які процеси у природі є основними джерелами утворення пилу?
2. Як пилове забруднення атмосфери впливає на клімат?
3. У яких одиницях вимірюється, як правило, розмір пилових частинок?
4. Який розмір зазвичай мають частинки пилу?
5. Частинки пилу якого розміру становлять найбільшу небезпеку для здоров'я людини?
6. Які порушення викликає пил у роботі технічних об'єктів?
7. За частинками пилу якого розміру визначає якість повітря Європейське агентство з охорони навколишнього середовища?
8. Які частинки пилу відносяться респірабельних, а які – до грубодисперсних?
9. Який показник якості повітря використовується у США?
10. Який показник якості повітря використовується в Україні?
11. Яким є принцип дії пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A?
12. Яким чином проводиться вимірювання концентрації частинок пилу пиломіром-аналізатором Walcom SR-516A?
13. У яких одиницях виміру пиломір-аналізатор може Walcom SR-516A може вимірювати концентрацію частинок пилу у повітрі?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Макаров В.З., Суровцева О.В., Чумаченко А.Н. Оценка запыленности воздушного бассейна города Саратова по данным прямых и косвенных методов наблюдений. Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 14. № 1. С. 16-25.
2. Состав домашней пыли. Невероятные открытия. <https://www.ochistitelvozduha.ru/sostav-domashney-pyili.-neveroyatnyie-otkryitiya.html>. Загол. з екрана.
3. Чомаева М.Н. Экологические проблемы воздействия химической промышленности на окружающую среду (на примере цементного производства). Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2016. № 2-1 (14). С. 141-143.
4. Измерение и нормирование аэрозолей фиброгенного действия. Москва: Изд-во СЭВ, 1982. 128 с.
5. Метод измерения концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия в рабочей зоне. Москва: Ин - т гигиены труда и профзаболеваний АМН СССР, 1975. 25 с.
9. Смачивание пыли и контроль запыленности воздуха в шахтах / Под ред. Г.Д. Лидина. – Москва: Наука, 1979. 196 с.
10. Particulate Matter (PM) Pollution : <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. Загол. з екрана.
11. Исаевич А.Г., Кормщиков Д.С. Исследование пылевой обстановки в условиях калийного рудника, опыт снижения запыленности атмосферы рабочих мест. Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 4. С. 60-74.
12. Что такое частицы PM2.5 и PM10. <https://air-pollution.ml/about.php>. Загол. з екрана.
13. Контроль запыленности производственных помещений. <https://helpiks.org/7-66324.html>. Загол. з екрана.
14. Датчик запыленности HPM PM2.5 Honeywell https://www.platan.ru/news/HPM-PM2_5Honeywell.shtml. Загол. з екрана.
15. Particulate Matter NAAQS Review - Analyses and Data Sets. <https://www.epa.gov/air-quality-analysis/particulate-matter-naaqs-review-analyses-and-data-sets>. Загол. з екрана.
16. AQI Calculator. <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-calculator-concentration>. Загол. з екрана.
17. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 52 від 14.01.2020 «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць». <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>. Загол. з екрана.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА	4
1.1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	4
1.1.1. Загальні положення.....	4
1.1.2. Вплив пилу на клімат.....	5
1.1.3. Вплив пилу на здоров'я людини.....	5
1.1.4. Вплив пилу на технічні об'єкти.....	7
1.1.5. Методи визначення запиленості повітря	8
1.1.6. Контроль запиленості повітря.....	8
1.1.7. Будова і принцип дії пиломіра-аналізатора Walcom SR-516A.....	13
1.1.8. Виконання вимірювань.....	17
1.1.9. Заходи безпеки.....	21
1.2 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	22
1.2.1. Приклад виконання завдання.....	22
1.2.2. Контрольне завдання	25
Питання для самоконтролю.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	28

БОРИСОВСЬКА Олена Олександрівна
КОЛЕСНИК Валерій Євгенович

**МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
НА ТЕМУ: «ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗАПИЛЕНОСТІ ПОВІТРЯ»**

для студентів освітньо-професійних програм «Екологія» та
«Технології захисту навколишнього середовища»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Друкується в редакційній обробці авторів

Підписано до друку 22.02.2021 р. Формат 30 x 42/4.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,7.
Обл.-вид. арк. 1,7. Тираж 30 прим. Зам. №

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.