


**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ,
ВПРОВАДЖЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ:**

**методичні рекомендації
до виконання лабораторної роботи № 1**



УДК 504.05:620.1:628.4 (072)
Е45

Рекомендовано Науково-методичною
радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол №2 від 21 листопада 2025 р.)

Укладач

Максимова Н.М., канд. техн. наук, доцент.

Е45 Екологічні аспекти розробки, впровадження та утилізації матеріалів :
методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи № 1 / уклад.
Н. М. Максимова. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025. 25 с.

У методичних рекомендаціях наведено тематика роботи, методичні пояснення щодо
порядку виконання завдання, питання для самоперевірки, список рекомендованих джерел
тощо.

УДК 504.05:620.1:628.4 (072)



ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота № 1 Визначення запиленості повітряного середовища у виробничих приміщеннях	6
1.1 Вплив шкідливих речовин, які знаходяться в повітряному середовищі, на організм людини	6
1.2 Запиленість повітря виробничих приміщень	8
1.3 Методи дослідження запиленості повітря робочої зони	10
1.4 Відбір проб пилу з газового потоку	12
1.5 Визначення запиленості повітряного середовища ваговим методом	14
1.6 Приклад спрощеного аналізу результатів вимірювання запиленості повітря	18
1.7 Завдання	19
Питання для самоперевірки	22
Рекомендована література	22
Додаток А Приклад титульного аркушу роботи, виконаної здобувачем	24



ВСТУП

У методичних рекомендаціях наведено тематика лабораторної роботи, методичні пояснення щодо порядку виконання, питання для самоперевірки тощо.

Рівень сформованості знань та навичок здобувача вищої освіти з освітнього компоненту за виконання лабораторної роботи оцінюють за бальною шкалою, яка наведена як в семестровому графіку, так і в силабусі та робочій програмі.

Зміст та вимоги до контрольних точок

Назва контрольної точки	Опис контрольної точки, порядок її проходження та отримання балів
Виконання та захист лабораторних робіт	<p><u>Max 5 балів:</u></p> <ul style="list-style-type: none">– за умови захисту лабораторної роботи максимально можливо набрати 5 бали від передбаченої загальної кількості балів, а без захисту – лише до 3 балів;– студент виконав лабораторні роботи, дав пряму і релевантну відповідь на поставлене питання з використанням обґрунтованого посилання на теоретичний матеріал та варіації зміни відповідь на зміну вхідних умов, в т.ч. у вигляді додаткових запитань / зміг стисло формалізувати вербально сутність проблеми за ситуацією, ідентифікувати ключові складові і пріоритети вирішення, запропонував логічне розв'язання завдання і проявив організованість при оформленні розрахункової частини лабораторної роботи, а за потреби розрахунково-графічної частини (3 бали);– оцінка ініціативності у роботі над проблемою, логічності та структурованості відповіді, здатності комунікувати у команді та під впливом негативних факторів, в т.ч. під тиском викладача та/або групи, вміння вести дискусію та бути критичним і самокритичним (2 бали).


Додаткові зауваження:

– студент може оскаржити отримані оцінки в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#)) та Положенням про політику та процедури врегулювання конфліктних ситуацій ([Академічні політики : Polytechnic \(metinvest.university\)](#))

– оцінки, отримані за роботу на практичних заняттях не можуть бути відпрацьовані або покращені, окрім процедури оскарження, оцінки за інші види поточного контролю можуть бути покращені за індивідуальною домовленістю з викладачем;

Особливі підходи до визнання результатів навчання

– В разі, якщо дисципліна є обов'язковою для здобувача освіти, і він засвоїв повністю або частково відповідні програмні результати навчання під час отримання освіти на попередніх або такому ж рівні, то кредити та оцінка з дисципліни може бути перезарахована в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#)).



Консультацію з даного питання можна отримати у викладача, куратора або гаранта освітньої програми, завідувача кафедри, за якою закріплено цю дисципліну;

– В разі, якщо здобувач освіти обрав цю дисципліну як дисципліну вільного вибору, не зважаючи на той факт, чи вивчалася вона раніше, оцінка та кредити з цієї дисципліни не перезараховуються;

– В разі, якщо здобувач освіти хотів би самостійно вивчити певні курси з проблематики освітнього компонента (наприклад, Coursera, UdeMy або інших платформ, в т.ч. платформ відкритих курсів вітчизняних та/або закордонних університетів), то 1) доцільно звернутися до списку рекомендованих вебресурсів або проконсультуватися з викладачем на предмет релевантності самостійно знайденого освітнього ресурсу програмі дисципліни; 2) в разі успішності опанування такого курсу, яке підтверджується сертифікатом або іншим способом, такому здобувачу у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](http://metinvest.university), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного контролю;

– У разі, якщо здобувач освіти реалізував певний вид наукової роботи (тези, стаття, результативна участь у студентській олімпіаді тощо), то у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](http://metinvest.university), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного або навіть підсумкового контролю.

Як приклад оформлення пояснювальної та розрахунково-графічної частини лабораторних робіт слід орієнтуватись на відповідні приклади рішення, які наведені за змістом методичних вказівок. Титульний аркуш студентських робіт наведено наприкінці методичних вказівок в додатку А.



Лабораторна робота № 1 Визначення запиленості повітряного середовища у виробничих приміщеннях

Мета роботи: ознайомитися з впливом виробничого пилу на організм людини; вивчити основні критерії, що характеризують запиленість повітряного середовища; ознайомитись з класифікацією хімічно небезпечних речовин; засвоїти методи дослідження запиленості повітря; ознайомитися більш детально із ваговим методом визначення запиленості повітря [1].

1.1 Вплив шкідливих речовин, які знаходяться в повітряному середовищі, на організм людини

Повітря – один з основних факторів, що забезпечує життєдіяльність людини у всіх сферах її перебування. Залежно від хімічного складу повітря, його фізичних і інших властивостей (температури, вологості, рухомості, тиску), а також наявності в ньому інших забруднень у вигляді пилу, туману та диму повітряне середовище може бути сприятливим, несприятливим або небезпечним. В повітряне середовище приміщень можуть надходити різноманітні шкідливі речовини, які використовуються на виробництві [1].

Шкідлива речовина – речовина, яка при контакті з організмом людини може викликати захворювання або відхилення у стані здоров'я під час безпосереднього впливу такої речовини, а також в подальший період життя постраждалого або його нащадків.

Шкідливі речовини потрапляють в організм людини переважно через дихальні шляхи (пари, газо- та пилоподібні речовини), а також через шкіру (рідини) та шлунково-кишковим шляхом. Висока всмоктувальна поверхня легень зумовлює подальше надходження шкідливих речовин у кров, якою вони розносяться по всьому організму людини. Ураження шкіри (порізи, рани) прискорюють надходження шкідливих речовин [1].

Шкідливі речовини, які проникають в організм в умовах виробництва навіть у відносно невеликих кількостях, викликають порушення нормальної життєдіяльності та професійні отруєння. Гострі отруєння виникають в результаті короточасного впливу великої дози шкідливої речовини / речовин. Розвиток хронічних отруєнь відбувається внаслідок тривалого впливу на працівника шкідливих речовин, кількість яких перевищує ГДК в незначній мірі.

Гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливої речовини у повітрі робочої зони – концентрація речовини, що в умовах регламентованої тривалості її щоденного впливу при 8-годинній роботі

(але не більше 40 годин на тиждень) не може викликати в осіб, що піддаються її впливу, захворювань чи відхилень у стані здоров'я, що виявляються сучасними методами досліджень протягом робочого стажу чи у віддалений термін життя теперішнього і наступного покоління [1-3].

За величиною ГДК у повітрі робочої зони шкідливі речовини поділяються на 4 класи: надзвичайно небезпечні, високо небезпечні, помірно небезпечні та мало небезпечні (табл. 1.1) [1]. Державні медико-санітарні нормативи допустимого вмісту хімічних речовин у повітрі робочої зони [3], ГН 1.1.2.140-2007 «Перелік промислових алергенів» [4] та ін. встановлюють ГДК для різних видів шкідливих речовин [3-5]. У залежності від особливостей дії на організм шкідливих речовин для них встановлюється ГДК двох типів: максимально-разова та середньозмінна.

Таблиця 1.1 – Класифікація шкідливих речовин [1]

Показники	Норми за класами безпеки			
	1 – надзвичайно небезпечні	2 – високо небезпечні	3 – помірно небезпечні	4 – мало небезпечні
ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони, мг/м ³	менше 0,1	0,1...1,0	1,1...10,0	більше 10,0

Для запобігання гострих і хронічних професійних отруєнь та захворювань внаслідок впливу шкідливих речовин на організм людини встановлені гранично допустимі концентрації ГДК шкідливих речовин. Однак слід враховувати, що у виробничих умовах працівники, як правило, піддаються одночасному впливу декількох шкідливих речовин. Відомо, що їх спільна дія може бути незалежною, взаємопідсиленою або взаємопослабленою [1].

При одночасному вмісті в повітрі робочої зони декількох видів шкідливих речовин однонаправленої дії, сума відношень їх концентрацій до їх граничнодопустимих концентрацій не повинна перевищувати 1:

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1, \quad (1.1)$$

де $C_1, C_2 \dots C_n$ – фактичні концентрації шкідливих речовин у повітрі, мг/м³;

$ГДК_1, ГДК_2 \dots ГДК_n$ – гранично допустимі концентрації відповідних шкідливих речовин, мг/м³.

При одночасному вмісті в повітрі декількох шкідливих речовин, що не мають односпрямованої дії, ГДК залишається таким самим, як і при їх ізольованій дії. В Україні встановлені ГДК різного завислого пилу в повітрі виробничого приміщення. Більшої уваги в світі приділяється ГДК для найбільш шкідливого пилу з розміром частинок до 5 мкм, що



знаходиться в повітрі виробничого приміщення.

На дію хімічних речовин і результат ураження людини впливають інші шкідливі та небезпечні виробничі чинники. Так, підвищена температура і вологість повітря, значне м'язове напруження зазвичай посилюють вплив шкідливих речовин. Велике значення також мають індивідуальні особливості людини, наявність хронічних захворювань чи психоемоційного напруження. В зв'язку з цим, працівники, які працюють у шкідливих умовах, проходять обов'язкові попередні та періодичні медичні огляди [1].

1.2 Запиленість повітря виробничих приміщень

Пил є достатньо розповсюдженим шкідливим чинником на виробництві. Пил – це тонкодисперсні частинки, які утворюються при різних виробничих процесах – дробленні, розмеленні, обробці твердих тіл, просіювання та транспортуванні сипучих матеріалів [1].

Пил у зваженому (в повітрі) стані називають аерозолем, а пил, що осів – аерогелем. За способом утворення пил поділяють на аерозоль дезінтеграції та аерозоль конденсації. При дезінтеграції пил потрапляє в повітря виробничого приміщення внаслідок механічного впливу на тверді речовини: при механічному подрібненні (різанні, розмелюванні), обробці поверхні матеріалів (шліфування, полірування), перемішуванні, розфасуванні, упакуванні, транспортуванні тощо. При конденсації пил утворюється внаслідок сублімації при електрозварюванні, газорізанні, плавленні металів та інших процесах, коли відбувається перехід речовини із твердого стану в газоподібний, оминаючи рідку фазу [1].

За походженням пили поділяють на органічні (деревний, бавовняний, кістковий аерозоль пластмас, аерозоль отрутохімікатів), неорганічні (цементний, азбестовий, піщаний, залізний, цинковий, свинцевий) і змішані.

За вражаючим ефектом на організм людини виробничі пили поділяють на пили фіброгенної (викликають ураження органів дихання), загальнотоксичної (діють на центральну нервову систему, кров і кровотворні органи), канцерогенної (призводять до виникнення ракових пухлин), подразнюючої (діють на слизові оболонки очей, носу, гортані, шкіри), сенсibiliзуючої (призводять до виникнення алергій), мутагенної (призводять до зміни спадкової інформації) дії та пили, що пригнічують репродуктивну функцію. Пил заповнює пори шкіри людини, утруднює потовиділення та призводить до сухості шкіри, її обезжирення та розвитку захворювань. При контакті зі шкірою пил проявляє подразнюючий, сенсibiliзуючий та фотодинамічний вплив (викликає дерматит, алергічний дерматоз, екзему, фолікуліт, фотодерматоз тощо) [1].

Токсичні (отруйні) пили – свинець, цинк, миш'як, плюмбум, манган, хром та інші, які розчиняються у біологічних середовищах організму



людини, викликаючи не тільки хронічні, але й гострі отруєння.

Нетоксичні (подрозднюючі) пили – мінеральні, металеві, деревні та інші пили (наприклад, пил чавуну, заліза, алюмінію, пластмас, скла, деревини), які при контактi з організмом людини викликають подразнення слизових оболонок, верхніх дихальних шляхів, лімфатичних вузлів, легень, а при довгій дії спричиняють професійні захворювання – пневмокониози.

Пневмокониоз – хронічне захворювання легенів, яке розвивається внаслідок тривалого вдихання та відкладання в легенях пилу і характеризується розвитком дифузного фіброзу. Пневмокониози отримують назву в залежності від виду пилу, що їх викликав (силікоз – SiO_2 , мангакониоз – Mn , бериліоз – Be , сидероз – пили, що містять в собі залізо, антракоз – вугільний пил та ін.). Найважчою формою пневмокониозу прийнято вважати силікоз, при якому відбуваються фіброзні зміни дихальної системи, розвивається хронічний бронхіт, спостерігаються порушення обмінних процесів та діяльності нервової системи. Зниження імунітету при силікозі спричиняє розвиток туберкульозу / злоякісних новоутворень в легенях [1].

За дисперсністю пилу класифікують на наступні групи:


- видимі (розмір частинок від 10 до 100 мкм);
- мікроскопічні (розмір частинок від 0, 25 до 10 мкм);
- субмікроскопічні (розмір частинок менше 0,25 мкм).

Як правило, чим дрібнішими є пили, тим вони небезпечніші для людини. Найбільш небезпечними для людини вважаються частинки розміром 3...10 мкм, які, потрапляючи в легені, при диханні затримуються в них і, накопичившись, можуть стати причиною захворювання. Частинки розміром менше 3 мкм переважно видихаються, а розміром більше 10 мкм – затримуються в горлі та носі [1].

Важливу роль відіграє форма частинок пилу (найбільш небезпечною є голчаста) та їх електророзрядженість (негативно заряджені частинки довше затримуються в повітрі). Дисперсність (розмір) пилових частинок є одним з головних факторів шкідливості для нетоксичного (подрозднюючого) пилу; для токсичного (отруйного) пилу найбільше значення має його хімічний склад.

Шкідлива дія пилу на організм залежить від дисперсності (розміру), форми частинок пилу, їх хімічного складу, метеорологічних умов, кількості пилу, що вдихається, тривалості впливу, індивідуальних особливостей людини тощо [1].

Пил небажаний і з суто технологічних причин (наприклад, при виробництві інтегральних схем, в оптичному виробництві, при використанні електронно-обчислювальних машин та в інших випадках). Пил при осіданні на частини механізмів, що труться, прискорює їх зношення (спрацювання), а потрапляючи на обмотку електродвигунів, викликає електрозамикання. При виконанні робіт високої точності пил може стати основною причиною браку виробу, а також призвести до



вибухів і пожеж. Також пил може погіршувати видимість та слугувати причиною виробничого травматизму. У зв'язку з цим боротьба з пилом має велике виробниче та і гігієнічне значення.

1.3 Методи дослідження запиленості повітря робочої зони


З метою розробки ефективних методів попередження / зниження запиленості виробничих приміщень проводять гігієнічну оцінку пилу. Якісну характеристику пилу дають на основі вивчення його фізико-хімічних властивостей, дисперсності та форми частинок пилу. Кількісну оцінку пилу здійснюють за всією масою пилу, що наявний в зоні дихання, або за кількістю частинок пилу в одиниці об'єму повітря. Прямі методи кількісного контролю запиленості повітряного середовища полягають в осадженні частинок пилу з наступним їх зважуванням; непрямі методи полягають в визначенні концентрації пилу на основі вимірювання частоти вібрації, струму, інтенсивності проникаючої радіації тощо. Розмір частинок пилу визначають, як правило, за допомогою оптичного мікроскопу; якісну характеристику пилу також можна отримати фотометричним методом [1].

Контроль запиленості може проводитися періодично (протягом зміни, щоденно, щомісячно) або безперервно (із сигналізацією про перевищення ГДК). Контроль вмісту пилу в повітрі проводиться в зоні дихання працівника або на відстані не більше ніж на 1,0...1,5 м від неї та на висоті 1,8 м від підлоги. Для непостійних робочих місць вимірювання концентрації пилу проводять у точках робочої зони, в яких працівник перебуває не менше 50% тривалості робочої зміни. Час відбору складає 15 хв для токсичних речовин та 30 хв для речовин переважно фіброгенної дії. Впродовж зміни або на окремих стадіях технологічного процесу в одній точці повинно бути відібрано не менше трьох проб (не менше однієї для речовин переважно фіброгенної дії). Контроль за вмістом пилу в повітрі робочої зони здійснюється безперервно для речовин з гостронаправленим впливом. Для інших речовин контроль здійснюється періодично [1]:

- не рідше одного разу на десять днів для надзвичайно небезпечних речовин;
- не рідше одного разу на місяць для високо небезпечних речовин;
- не рідше одного разу на квартал для помірно небезпечних та мало небезпечних речовин.

Оцінка пилового фактора проводиться шляхом порівняння отриманих значень максимально-разових концентрацій пилу з гранично допустимими концентраціями.

Максимально разова концентрація пилу – концентрація пилу, що визначається за результатами безперервного або дискретного відбору



проб повітря в зоні дихання працівників або у робочій зоні, при технології процесу, яка супроводжується максимальним утворенням пилу.

Робоча зона – простір висотою до 2 м над рівнем підлоги, на якій розташовані робочі місця постійного або тимчасового перебування працівників.

Зона дихання – простір у радіусі до 50 см від обличчя працівника.

При розрахунках пилового навантаження на органи дихання працівників використовують значення середньозмінних концентрацій.

Середньозмінна концентрація пилу – це середньозважена за 8-годинну робочу зміну кількість пилоподібної речовини у кубічному метрі повітря робочої зони працівника. Середньозмінну концентрацію визначають з урахуванням перебування працівника на всіх стадіях та операціях технологічного процесу (на протязі не менше трьох змін та не менше 75% тривалості кожної зміни) [1].

Пилове навантаження на органи дихання – сумарна експозиційна доза пилу, яка виражає загальну масу пилу, що визначається величиною середньозмінної концентрації пилу, який працівник вдихає за весь період професійного контакту з речовинами; маса пилу, що потрапила до органів дихання за строк роботи у контакті з пилом.

Контроль концентрації пилу в повітрі виробничих приміщень та робочих зон здійснюється в лабораторних умовах, шляхом експрес-аналізу або з використанням індикаторів. Лабораторний спосіб є найточнішим, проте найбільш трудоємним. Він полягає в тому, що на робочих або інших визначених місцях відбирають проби повітря, доставляють їх у спеціальні лабораторії, в яких виконується аналіз цих проб з метою визначення хімічного складу повітря та концентрації шкідливих речовин.

При використанні експрес-аналізу результати контролю стають відомими безпосередньо в момент його виконання. Він виконується за допомогою спеціальних вимірювальних приладів, принцип дії яких ґрунтується на використанні спеціальних вимірювальних приладів, принцип дії яких засновано на використанні деяких фізичних і хімічних явищ: зміні електропровідності речовин, фотоелектричному ефекті, зміні кольору речовин в ході хімічної реакції тощо.

Визначення концентрації пилу здійснюється за допомогою наступних методів експрес-аналізу:

- ваговий – визначення концентрації пилу, який затримується на спеціальному фільтрі після проходження через нього деякого об'єму запиленого повітря;

- лічильний (коніметричний) – визначення концентрації пилових частинок, їхнього розміру та форми під мікроскопом після попереднього осадження на предметне скло пилу, який знаходиться у певному об'ємі повітря;

- седиментаційний – визначення концентрації пилу, природно

осадженого з обмеженого або необмеженого об'єму запиленого повітря, за допомогою лічильників пилу;

- фотометричний – визначення загального числа частинок пилу у визначеному об'ємі повітря за різницею світлових потоків до і після проходження запиленого повітря;

- електрометричний – електризація аерозольних частинок пилу в полі негативного коронованого розряду та в подальше вимірювання електричного заряду, що накопичується на стінках вимірювальної камери і є пропорційним до вмісту пилу в повітрі.

За допомогою індикаторів можна швидко виявити присутність у повітрі деяких шкідливих речовин без визначення їхньої концентрації (за запахом або з використанням деяких хімічних речовин, які змінюють свої властивості, наприклад, колір).

В санітарно-гігієнічній практиці України стандартним вважається ваговий метод, що доповнюється дисперсним аналізом для визначення фракційного складу пилу. Для оцінювання запиленості повітряного середовища необхідно знати такі основні показники: концентрацію пилу в повітрі виробничого приміщення або робочої зони, розмір частинок пилу, їх форму, хімічний склад пилу та його токсичність [1].

1.4 Відбір проб пилу з газового потоку

Для відбору проб пилу з повітропроводів застосовують два способи: зовнішньої фільтрації, при якому використовують закритий алонж з фільтром, розташований поза повітропроводом, і внутрішньої фільтрації, коли відкритий алонж з фільтром знаходиться безпосередньо в повітропроводі (рис. 1.1-1.2).

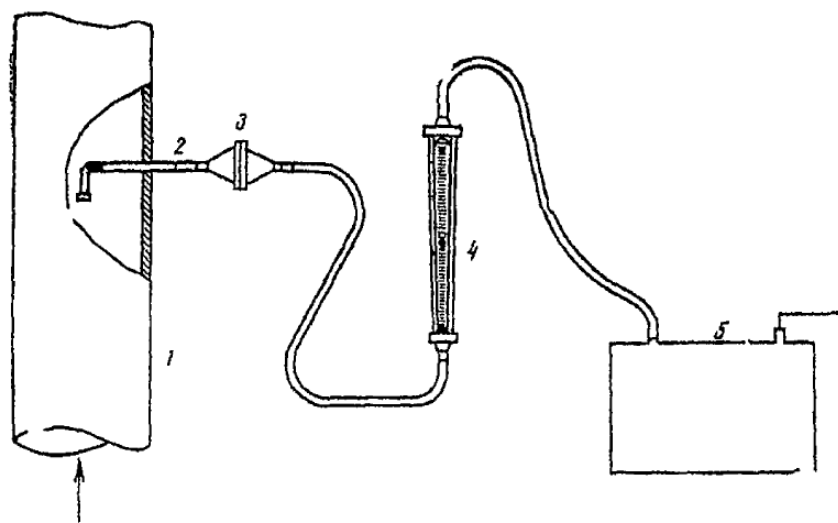


Рисунок 1.1 – Схема відбору проб пилу методом зовнішньої фільтрації: 1 – повітропровід; 2 – пиловловлююча трубка; 3 – алонж з фільтром; 4 – ротаметр; 5 – аспіратор

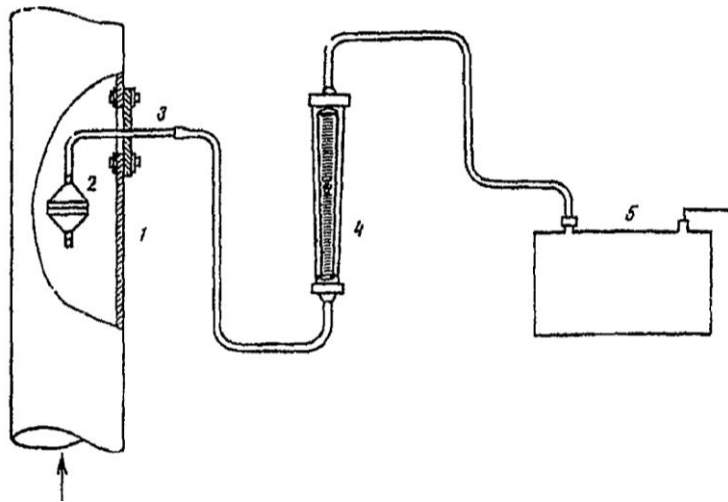


Рисунок 1.2 – Схема відбору проб пилу методом внутрішньої фільтрації: 1 – повітропровід; 2 – алонж з фільтром; 3 – металева трубка; 4 – ротаметр; 5 – аспіратор

При зовнішній фільтрації в повітропровід вводять пиловідбірну трубку з наконечником. Застосовують пиловідбірні трубки різних систем, в тому числі універсальну пилозабірну трубку (рис. 1.3).

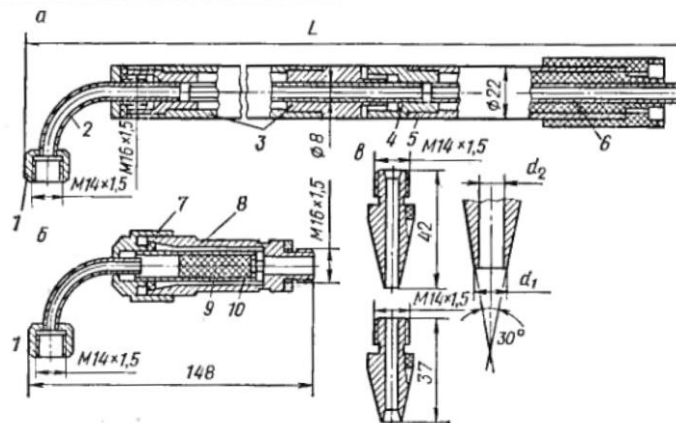


Рисунок 1.3 – Універсальна забірна трубка. Умовні позначення: а – трубка зі змінним коліном для зовнішньої фільтрації; б – фільтруючий елемент для внутрішньої фільтрації; в – змінний наконечник; 1 – гніздо для наконечника; 2 – колесо; 3 – знімні ланки; 4 – трубка; 5 – кожух; 6 – нагрівач; 7 – ущільнення; 8 – корпус фільтруючого елемента; 9 – фільтруюча набивка; 10 – гільза

Трубки оснащуються знімними наконечниками різних розмірів: номер наконечника 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20. Розрахунковий діаметр, мм 4,6; 6,5; 8; 9,2; 10,3; 11,3; 12,2; 13; 13,8; 14,5; 17,8; 20,6. Наконечники більших розмірів зазвичай використовують для відбору проб пилу для дисперсного аналізу, оскільки в цьому випадку необхідні значні її навіски.

Відбір проб повітря з повітропроводів повинен виконуватися з дотриманням принципу ізокінетичності, який полягає в тому, що швидкість повітря у вхідному отворі пиловловлювача повинна дорівнювати швидкості повітря в повітропроводі.

Похибка при порушенні ізокінетичності зростає із збільшенням розмірів пилових частинок. При відборі пилю з частинками менше 5 мкм суворе дотримання ізокінетичності не потрібне.

1.5 Визначення запиленості повітряного середовища ваговим методом

У цій роботі розглядається дослідження запиленості повітряного середовища ваговим методом [1].

Найпоширеніший метод визначення масового вмісту пилю в повітрі полягає в тому, що певний об'єм повітря пропускають через фільтрувальний матеріал і визначають масу цього матеріалу до і після запилення.

В даний час широко застосовують спеціальні аналітичні аерозольні фільтри АФА. Фільтрувальним матеріалом є перхлорвінілова тканина ФПП. Тканина поміщена в захисне паперове кільце. При відборі проб фільтри встановлюють в металеві або пластмасові патрони. Проби відбирають на різних ділянках виробничих приміщень і населених пунктів, де необхідно визначити вміст пилю в повітрі.

Фільтр зважують до і після запилення на лабораторних вагах з точністю до 0,1 мг. Перед зважуванням фільтри витримують у приміщенні з постійною вологістю не менше 30 хвилин.

На робочих місцях проби відбирають на рівні дихання працюючого (рис. 1.4). На рис. 1.4 представлені аспіратор, ежекторний аспіратор, пилосос з ротаметром. Патрон і фільтри з'єднані з аспіратором гумовими шлангами

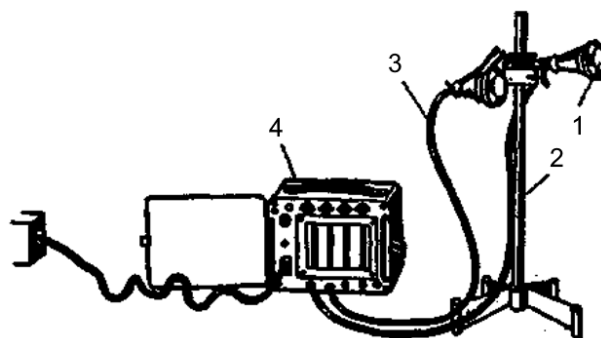


Рисунок 1.4 – Установа для визначення запиленості повітря: 1 – патрон з фільтрами; 2 – штатив, 3 – гумова трубка; 4 – аспіратор

Загальний вигляд пристрою для вагового визначення концентрації пилу, який знаходиться в повітрі, наведено на рис. 1.5 [1].

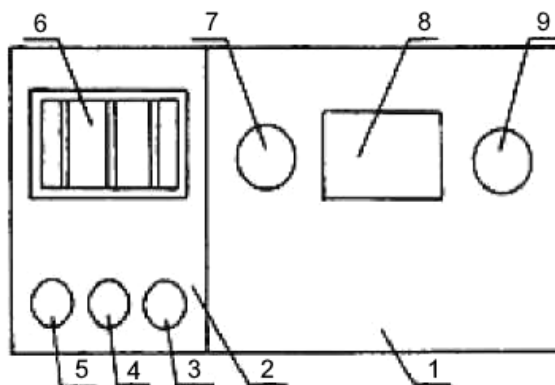


Рисунок 1.5 – Схема пристрою для відбору проб пилу [1]: 1 – камера пилова; 2 – відсік приладовий; 3 – тумблер вмикання вентилятора; 4 – тумблер вмикання аспілятора; 5 – тумблер вмикання пристрою; 6 – аспіратор; 7 – бункер-дозатор; 8 – вікно оглядове; 9 – алонж-фільтроутримувач

Пилова камера 1 імітує виробниче приміщення, в яку за допомогою бункера-дозатора 7 висипають порцію пилу, що розвіюється вентилятором. На передній стінці камери є отвір з алонжем-фільтроутримувачем 9 для закріплення в ньому фільтру для відбору проби пилу. В приладовому відсіці знаходиться аспіратор 6, за допомогою якого проводять прокачування запиленого повітря через фільтр. У роботі використовують пластмасовий фільтроутримувач з аналітичним фільтром типу АФА. В умовах виробництва проби повітря беруть, як правило, в зоні дихання працюючого, тобто на висоті 1,5...2,0 м від рівня підлоги. У кожній точці робочої зони беруть декілька проб (не менше трьох) [1]. В роботі також використовують аналітичні ваги (рис. 1.6), барометр-анероїд термометр, годинник.



Рисунок 1.6 – Аналітичні ваги

Порядок виконання лабораторних досліджень.

Роботу виконують за допомогою пилової камери, схема якої



наведена на рис. 1.5, у наступній послідовності [1].

1. Перед відбором проби фільтр повинен бути зважений на аналітичних вагах. Перед цим фільтр не менше 1 години витримують у приміщенні, де проводиться зважування. Фільтр слід брати пінцетом за край. Зважені чисті фільтри поміщають у поліетиленові пакети, на яких наносять номер фільтра і його початкову масу. Підготовлені фільтри використовують для відбору проб на точках спостереження.

2. Для визначення разової концентрації пилу відбір проводять протягом 20 хвилин.

3. Фільтр з відібраною пробою обережно виймають з фільтротримача, складають навпіл запиленою поверхнею всередину і поміщають послідовно в пакет з кальки і в поліетиленовий пакет. На пакет кульковою ручкою наносять наступні дані: найменування і номер міста; дату і час відбору.

4. Фільтри передаються в лабораторію для визначення маси пилу. Перед зважуванням в лабораторії фільтри знову витримують не менше години в приміщенні, де проводять зважування. Якщо відбір проводився при відносній вологості повітря, близькій до 100 %, то фільтр доводять до постійної маси. Для цього його поміщають у скляній чашці в ексікатор з плавленим хлористим кальцієм на 2 години або в сушильну шафу з температурою 40–50°C на 30–50 хвилин, а потім необхідно витримати 40–50 хвилин у приміщенні, де проводять зважування. Якщо при зважуванні фільтра його маса змінюється, то повторюють операцію просушування.

5. Увімкнути аналітичні ваги в електричну мережу і упевнитись, що вони застопорені рукояткою на передній панелі; розгорнути пакет з фільтром, розкрити захисні кільця і за допомогою пінцету обережно покласти фільтр на ліву чашку терезів. Розстопорити ваги і, маніпулюючи поворотами більшого кільця (сотні міліграм) і меншого кільця (десятки міліграм) на передній панелі вагів, досягти мінімального відхилення стрілки терезів від 0, а потім підрахувати масу фільтра.

6. Зважений фільтр пінцетом вкладають в захисні кільця і закріплюють у фільтроутримувачі 9.

7. Увімкнути електричний струм тумблером 5 та аспіратор тумблером 4. Ручкою вентилятора, який з'єднаний з фільтроутримувачем, встановити швидкість відбору проби повітря 10...20 л/хв по верхньому зрізу поплавка на шкалі і вимикають аспіратор.

8. Вмикають вентилятор тумблером 3 і поворотом ручки 7 бункера-дозатора подають пил у камеру

9. Після утворення в камері достатнього рівня запиленості вентилятор вимикають, одночасно вмикають аспіратор 1 на протязі 1...3 хв вибирають пробу запиленого повітря.

10. Запилений фільтр за допомогою пінцета дуже обережно, щоб не струсити пил, витягують з фільтроутримувача і вкладають на ваги і

зважують.

За допомогою відповідних приладів встановлюють значення барометричного тиску та температуру у місці відбору проби і записують у табл. 1.2 [1].

Таблиця 1.2 – Підсумки дослідження запиленості [1]

№	Показник	Значення
1	Номер досліджу	
2	Місце відбору проб повітря	
3	Температура повітря у приміщенні, °C	
4	Барометричний тиск, мм рт. ст.	
5	Маса фільтру до відбору проби, мг	
6	Маса фільтру після відбору проби, мг	
7	Маса затриманого пилу, мг	
8	Тривалість відбору проби, хв	
9	Швидкість відбору проби, л/хв	
10	Об'єм повітря, який пройшов крізь фільтр, м ³	
11	Об'єм повітря, який пройшов крізь фільтр, приведений до нормальних умов, м ³	
12	Концентрація пилу у повітрі, мг/м ³	
13	Гранично допустима концентрація пилу за нормами, мг/м ³	
14	Примітки	

7. Знаючи об'ємну швидкість та тривалість відбору проби повітря, визначають об'єм повітря, яке пройшло через фільтр V_0 , (м³), за формулою (1.2), приведену до нормальних умов [1]:

$$V_0 = V_t \cdot \frac{273 \cdot P}{(273 + t) \cdot 760}, \quad (1.2)$$


де V_0 – об'єм повітря, який пройшов крізь фільтр, приведений до нормальних умов, м³;
 V_t – об'єм повітря, який пройшов крізь фільтр, при температурі t та тиску P , м³;
 P – барометричний тиск у місці відбору проби, мм рт. ст.;
 t – температура повітря у місці відбору проби, °C.

8. Розрахувати масову концентрацію пилу, мг/м³, за формулою (1.3) [1-2]:

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V_0}, \quad (1.3)$$

де m_2 – маса фільтру до відбору проби, м²;
 m_1 – маса фільтру після відбору проби, м².

9. Одержані результати дослідження і розрахункові дані записати



у табл. 1.2. Оцінку рівня запиленості у виробничому приміщенні проводять порівнянням результатів дослідження з вимогами гігієнічних нормативів [3-5].

Якщо концентрація шкідливих речовин в повітряному середовищі перевищує гранично допустиму концентрацію, необхідно запропонувати заходи, за допомогою яких можна привести концентрацію пилу до вимог гігієнічних нормативів [1].

Зокрема, до основних заходів захисту від виробничого пилу, а також попередження забруднення повітряного середовища на виробництві, належать [1]:

- вилучення шкідливих речовин у технологічних процесах, заміна шкідливих речовин менш шкідливими;
- удосконалення технологічних процесів (зволоження пилоподібних матеріалів, гранулювання і брикетування пилоподібних матеріалів, використання замкнених технологічних циклів);
- використання безпилових видів транспорту сипких матеріалів: гідротранспорту і пневмотранспорту, вібротруб, герметично закритих шнеків;
- автоматизація та дистанційне керування виробничими процесами;
- герметизація джерел пилу разом з аспірацією (місцеве відсмоктування);
- місцева і загальнообмінна вентиляція, очистка викидів у атмосферу;
- контроль за вмістом шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- медичні огляди робітників, які працюють у шкідливих умовах, профілактичне харчування;
- засоби індивідуального захисту – респиратори, протигази, комбінезони, захисні окуляри тощо.

1.6 Приклад спрощеного аналізу результатів вимірювання запиленості повітря

Завдання 1: Розрахунок вмісту пилу

Масову концентрацію (C , мг/м³) пилу у повітрі розраховують за формулою (1.3):

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V_0},$$

де m_1 – маса фільтра без пилу,
 m_2 – маса фільтра з пилом,
 V_0 – об'єм повітря, пропущений через фільтр, приведений до нормальних умов: температура –



0°C, тиск – 760 мм рт. ст.)

Наприклад: Відбір проби на пил при тиску 735 мм рт. ст., температура + 10°C.

Якщо $m_1 = 0,1020$ г, $m_2 = 0,1040$ г, то $m = m_2 - m_1 = 0,1040$ г – $0,1020$ г = $0,002$ г (2,0 мг).

$$V_0 = k_{\text{прив}} \cdot V_{\text{пил}}$$

$V_{\text{пил}} = 3000$ л – об'єм відбору проб на ротаметрі (відповідно до методики відбору проб), $k_{\text{прив}} = 0,933$.

$k_{\text{прив}}$ – коефіцієнт приведення знаходиться за табл. 1.3.

$$V_0 = k_{\text{прив}} \cdot V_{\text{пил}} = 3000 \text{ л} \cdot 0,933 = 2799 \text{ л, або } 2,799 \text{ м}^3$$

Довідково: $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$, $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ дм}^3 = 1000 \text{ л}$.

$$C = \frac{m_2 - m_1}{V_0} = \frac{0,1040 - 0,1020}{2,799} = 0,7 \text{ мг/м}^3.$$

Таблиця 1.3 – Коефіцієнти перерахунку для приведення об'єму повітря до нормальних умов

t, °C	Тиск, мм рт ст								
	730	735	740	745	750	755	760	765	770
0	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	1,0	1,0	1,1
5	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
10	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98
15	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,94	0,96	0,96	0,96
20	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,94	0,93	0,94	0,94
25	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,93	0,92	0,93	0,93
30	0,87	0,97	0,88	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91
35	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90
40	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,87	0,88	0,88

1.7 Завдання

Ознайомитись з впливом виробничого пилу на організм людини; вивчити основні критерії, що характеризують запиленість повітряного середовища; ознайомитись з класифікацією хімічно небезпечних речовин; засвоїти методи дослідження запиленості повітря; ознайомитися більш детально із ваговим методом визначення запиленості повітря.

Спираючись на приклад (див. п.п. 1.6) визначити концентрацію пилу за умови: $t + 20^\circ\text{C}$, тиску 745 мм рт. ст., $V_{\text{проби}} = 3000$ л, $m_1 = 0,0832$ г,

$m_2 = 0,0838$ г, $k_{\text{прив}}$ знайти в табл. 1.3. Характеристика забруднюючої речовини наведена в табл. 1.4.

Під час виконання завдання з розрахунку концентрації пилу необхідно заповнити графи 7 і 8 табл. 1.5 (відповідно до номера варіанту). Зробити висновок про вміст пилу в повітрі, порівнявши отримані дані (з урахуванням даних табл. 1.5) з нормативом. У висновку обов'язково зазначте порівняння результату визначень з гранично допустимою концентрацією (ГДК), мг/м^3 , та вкажіть клас небезпечності забруднюючої речовини у відповідності до Державних медико-санітарних нормативів допустимого вмісту хімічних речовин у повітрі робочої зони, затверджених наказом Міністерства охорони здоров'я України від 09 липня 2024 року № 1192 [3].

Надати стисло відповідь на питання за варіантами у вигляді есе (табл. 1.6; до 2 сторінок пояснень із зазначенням використаних інформаційних джерел, оформлених за ДСТУ 8302:2015). Зверніть увагу, що на сайті ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» в розділі Бібліотека можна ознайомитись з рекомендаціями та прикладами оформлення бібліографічних посилань [5]. Слід з увагою відноситись до онлайн-ресурсів, які допомагають генерувати бібліографічний опис за вимогами певного стандарту, та завжди перевіряти згенеровані результати на онлайн-ресурсі, наприклад як [6].

Таблиця 1.4 – Вихідні дані за варіантами: характеристика забруднюючої речовини

№ варіанту	Характеристика забруднюючої речовини
1	Ванадійвмісні шлаки, пил
2	Пил доменного шлаку
3	Силікатовмісний пил, силікати, алюмосилікати: азбести природні (хризотил, антофіліт, актиноліт, тремоліт, магнезіарфведсоніт) і синтетичні азбести, а також змішаний азбестопородний пил із вмістом в них азбесту понад 20 %
4	Силікатовмісний пил, силікати, алюмосилікати: азбестопородний пил із вмістом у ньому азбесту від 10 % до 20 %
5	Силікатовмісний пил, силікати, алюмосилікати: азбестоцемент
6	Силікатовмісний пил, силікати, алюмосилікати: цеоліти (природні та штучні)
7	Силікатовмісний пил, силікати, алюмосилікати: цемент, оливін, апатит, фостерит, глина, шамот каоліновий
8	Ванадійвмісні шлаки, пил
9	Пил доменного шлаку
10	Ванадійвмісні шлаки, пил
11	Силікатовмісний пил, силікати, алюмосилікати: азбестопородний пил із вмістом у ньому азбесту від 10 % до 20 %
12	Силікатовмісний пил, силікати, алюмосилікати: азбестоцемент

Таблиця 1.5 – Варіанти розрахунку концентрації зважених речовин

№ п/п	t, °C	P, мм рт.ст.	K _{прив.}	Вага фільтра		m, фільтр	C, мг/м ³
				чистого	з пилом		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	24	736	0,889	0,0824	0,0833		
2	29	735	0,873	0,0861	0,0861		
3	+28	734	0,874	0,0940	0,0940		
4	+18	732	0,903	0,0801	0,0807		
5	+23	733	0,889	0,0859	0,0875		
6	+14	734	0,919	0,0835	0,0849		
7	+12	740	0,933	0,0881	0,0907		
8	+25	740	0,892	0,0901	0,0920		
9	+17	740	0,916	0,0855	0,0864		
10	+12	741	0,934	0,0858	0,0867		
11	+18	742	0,916	0,0844	0,0855		
12	+20	743	0,911	0,0832	0,0838		
13	+15	745	0,929	0,0846	0,0855		
14	+25	745	0,899	0,0790	0,0801		
15	+23	745	0,904	0,0919	0,0928		
16	+20	744	0,912	0,0833	0,0839		
17	+14	741	0,934	0,0884	0,0910		

Таблиця 1.6 – Вихідні дані за варіантами для написання есе*

№ варіанту	Питання, що потрібно розкрити у вигляді есе
1	Який метод визначення концентрації шкідливих речовин в повітрі вважають стандартним в санітарно-гігієнічній практиці України?
2	Як впливає розмір пилових часників на шкідливість пилу?
3	Які існують способи контролю концентрації шкідливих речовин в повітрі?
4	В чому сутність вагового методу визначення концентрації шкідливих речовин в повітрі?
5	Від чого залежить шкідлива дія пилу на організм людини?
6	Що таке гранично допустима концентрація шкідливої речовини у повітрі робочої зони?
7	Що таке шкідлива речовина? Який вплив на організм людини може шкідлива речовина у виробничих приміщеннях?
8	Що таке пневмоконіоз? Які основні види пневмоконіозу?
9	Що таке пилове навантаження на органи дихання?
10	Що таке виробничий пил? Які речовини відносять до нетоксичного (подразнюючого) пилу? Які речовини відносять до токсичного (отруйного) пилу?
11	Які розрізняють види пилу? Як класифікують пил за походженням? Як поділяють пили за вражаючим ефектом на організм людини?
12	Які основні заходи боротьби із запиленістю використовують у виробничих приміщеннях?

Примітка. «*» За бажанням і за умови обов'язкового узгодження з викладачем здобувач вищої освіти може запропонувати тему дослідження, відмінну від запропонованої в табл. 1.6.




Питання для самоперевірки

1. Які Вам відомі експрес-методи визначення концентрації пилу в повітрі?
2. Розкрийте основний зміст лічильного (коніметричного) методу визначення концентрації пилу в повітрі?
3. Який принцип покладено в основу фотометричного методу визначення концентрації пилу в повітрі?
4. Які фізичні властивості пилу покладені в основу електрометричного методу визначення концентрації пилу в повітрі?
5. Які Вам відомі заходи попередження забруднення повітряного середовища на виробництві? Наведіть приклад.

Перелік рекомендованих джерел

1. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження запиленості повітряного середовища у виробничих приміщеннях» з дисципліни «Безпека життєдіяльності фахівця з основами охорони праці» : для студентів усіх спеціальностей та форм навчання. / уклад. О. Л. Скуйбіда. Запоріжжя : Кафедра ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. 21 с.
2. Методика і визначення вмісту пилу (зважені частинки) здійснюється за чинним РД 52.04.186-89 «Настанова з контролю забруднення атмосфери».
3. Державні медико-санітарні нормативи допустимого вмісту хімічних речовин у повітрі робочої зони : Затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 09 липня 2024 року № 1192. Оновлення: 11.04.2025. URI: [Про затвердження державних меди... | від 09.07.2024 № 1192](#) (дата звернення: 05.09.2025).
4. Про затвердження Гігієнічного нормативу "Перелік промислових алергенів" : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02.03.2007 № 99. URI: [Про затвердження Гігієнічного нор... | від 02.03.2007 № 99](#) (дата звернення: 05.09.2025).
5. Про затвердження Вимог до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу хімічних речовин : наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 22.03.2012 № 627. URI: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0521-12#Text> (дата звернення: 05.09.2025).
6. Бібліотека : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» : веб-сайт. URI: <https://metinvest.university/page/library> (дата звернення: 05.09.2025).
7. Онлайн-генератор посилань за ДСТУ 8302:2015 : Grafiati : веб-сайт. URI: <https://www.grafiati.com/uk/blogs/dstu-8302-2015-referencing-generator/> (дата звернення: 05.09.2025).



8. Методичні рекомендації щодо процедур відбору проб під час надзвичайних ситуацій та небезпечних подій, пов'язаних з виливом (викидом) небезпечних хімічних речовин : Затверджено Наказ ДСНС від 08.09.2021 № 602. https://zk.dsns.gov.ua/upload/1/6/1/8/4/2021-9-8-metodicni-rekomendaciyi.pdf?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 05.09.2025).

9. Про затвердження Методичних рекомендацій "Оцінка ризиків для здоров'я працівників від забруднення повітря робочої зони хімічними речовинами" : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 02.03.2024 № 358. Верховна Рада України : офіційний веб-сайт. URI: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0358282-24?utm_source=chatgpt.com#Text (дата звернення: 05.09.2025).

Приклад титульного аркушу роботи, виконаної здобувачем

ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ,
ВПРОВАДЖЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ:**

Лабораторна робота № 1 за варіантом № _

Виконав:
здобувач вищої освіти
групи _____
Прізвище І.П.

Перевірила:
доц. Максимова Н.М.



Навчально-методичне видання

Наталія Миколаївна Максимова

**ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ,
ВПРОВАДЖЕННЯ ТА УТИЛІЗАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ:**

**методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи № 1:**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції