

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторної роботи

«Визначення швидкості руху повітря за допомогою анемометрів різних типів»

з курсу «Системи контролю небезпечних та шкідливих виробничих факторів»

для студентів першого(бакалаврського) рівня освіти, галузі знань 26 «Цивільна безпека», спеціальності 263 – «Цивільна безпека», освітньо-професійної програми «Охорона праці» очної та заочної форми навчання.

Затверджено
редакційно - видавничою
радою університету,
протокол № 1
від 15.02.2024 р.

НТУ «ХПІ»
Харків
2024

Методичні вказівки до лабораторної роботи «Визначення швидкості руху повітря за допомогою анемометрів різних типів» з курсу «Системи контролю небезпечних та шкідливих виробничих факторів» для студентів першого(бакалаврського) рівня освіти, галузі знань 26 «Цивільна безпека», спеціальності 263 – «Цивільна безпека», освітньо-професійної програми «Охорона праці» очної та заочної форми навчання./ Є.В.Ящерицин – Харків: НТУ «ХПІ», 2024. – 42 с.

Укладач: Є.В. Ящерицин.

Рецензент: Семенов Є.О.

Кафедра «Безпека праці та навколишнього середовища».

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ АНЕМОМЕТРІВ РІЗНИХ ТИПІВ

Мета роботи – набуття навичок визначення швидкості руху повітря за допомогою анемометрів різних типів.

1. Загальні положення та прилади для вимірювання швидкості руху повітря.

Швидкість руху повітря є одним з параметрів мікроклімату[1], які нормуються у виробничих приміщеннях. Вона вимірюється відстанню пройденою масою повітря в одиницю часу і вимірюється у приміщеннях, як правило, в метрах за секунду, м/с. У метеорології, кліматології, мореплавстві, будівництві та інших сферах господарства останню також виражають у км/год., в англійських країнах поряд з метричними одиницями, застосовують також такі, як вузол(1 морська миля/година = 1,852 км/год), фут/с, миля/год та похідні від них.

Організм людини починає відчувати повітряні потоки при швидкості близько 0,15 м/с. Для вимірювання швидкості руху повітря використовують анемометри різноманітних конструкцій та кататермометри. Як і всі сучасні засоби вимірювальної техніки, ці прилади поділяються на дві групи – **аналогові** та **цифрові**. До першої групи належать кататермометри, механічні, електромеханічні та електронні обертальні анемометри. До другої групи – обертальні цифрові, вихрові; теплові, динамометричні, **ультразвукові** (акустичні), **оптичні** (лазерні доплерівські) анемометри. Розглянемо їх більш детально.

1.1. Кататермометр.

Кататермометр являє собою спиртовий термометр з циліндричним або кульовим резервуаром у нижній частині, що переходить у капіляр з розширенням у його верхній частині(рис.1)[2, 3]. Цей прилад призначений для вимірювання швидкостей руху повітря від 0,05 до 15,8 м/с. Принцип дії приладу

ґрунтується на оцінці охолоджувальної здатності руху повітря у деякому інтервалі температур. Шкала кататермометра проградуєвана від 35 до 38 °С (у приладі з циліндричним резервуаром) і від 33 до 40 °С (у приладі з кульовим резервуаром); середня точка шкали – 36,5 °С. Перед вимірюванням прилад нагрівають у воді з температурою 65–75 °С. Потім виймають із води, насухо витирають і вміщують у приміщення(або на робоче місце), де проводять вимірювання. Встановити швидкість повітря за допомогою цього приладу можна після проведення математичних розрахунків та за допомогою таблиць.

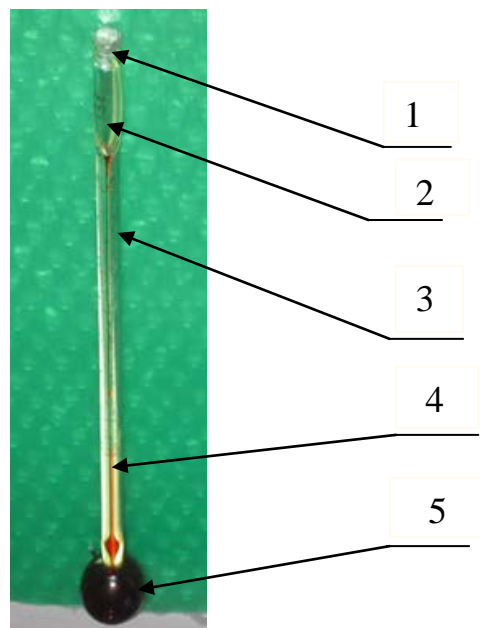


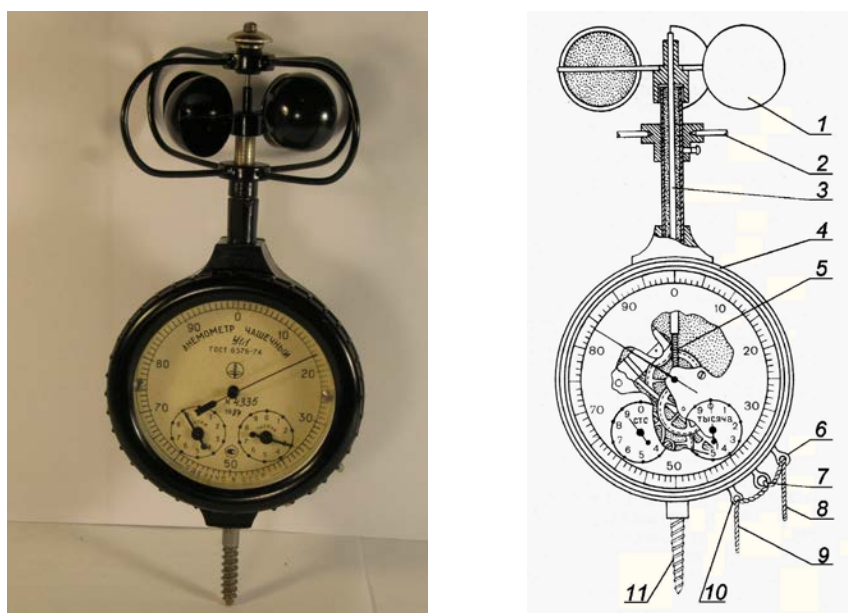
Рис. 1. Кататермометр з кульовим резервуаром: 1 – пристосування для підвішування кататермометра при проведенні вимірювань; 2 – розширення капіляра в верхній частині; 3 – шкала; 4 – капіляр; 5 – кульовий резервуар.

1.2. Обертальні механічні анемометри

Анемометр – це прилад, назва якого походить від двох грецьких слів $\acute{\alpha}\nu\epsilon\mu\omicron\varsigma$ (вітер) та $\mu\epsilon\tau\rho\acute{\epsilon}\omega$ (вимірювати), його використовують для вимірювання швидкості потоків та напрямку руху повітря, газів та рідин[4]. Принцип дії анемометра ґрунтується у виявленні зміни деякої фізичної властивості повітря(газового середовища), або у дії останнього на механічний пристрій, розміщений у ньому. Відомі такі його види: **обертальні механічні** (крильчасті, чашкові), **індукційні, вихрові; теплові, динамометричні** (з трубками Піто),

ультразвукові (акустичні), **оптичні** (лазерні доплерівські). Розглянемо їх більш детально.

Як було зазначено вище, до обертальних механічних анемометрів відносять чашкові та крильчасті, відмінність між ними полягає у формі чутливого елемента. Так, у **чашкових анемометрах** ним є хрестовина з чотирма металевими(або пластмасовими) чашками напівсферичної форми, що закріплені на осі. Якщо цей пристрій потрапляє у потік, то тиск повітря на внутрішню поверхню чашки перевищує тиск на її зовнішню поверхню, внаслідок чого виникає обертання лопаті. Вісь лопаті приєднана до вимірювального механічного пристрою, який підраховує кількість обертів за певний проміжок часу. Таким чином, чашкові анемометри проводять вимірювання швидкості потоку в площині, перпендикулярній до осі обертання чашок, миттєву, або усереднену в деякому проміжку часу. Вони в основному використовуються у метеорології для вимірювань на відкритих ділянках, оскільки характеризуються певною стійкістю до турбулентних потоків. Діапазон вимірювання чашкових анемометрів складає від 1 до 50 м/с. На рис. 2 наведено зовнішній вигляд та будову анемометра ручного чашкового з рахунковим механізмом типу МС-13[2, 5], його технічні характеристики наведені в додатку 1.



а

б

Рис. 2. Анемометр ручний чашковий МС-13: а – зовнішній вигляд; б – схема будови, де 1 – чашка; 2 – захисна дужка; 3 – вісь; 4 – корпус; 5 – черв'як; 6, 10 – кільця; 7 – важіль з кільцем; 8, 9 – шнури; 11 – гвинт.

У крильчастих анемометрів основною відмінністю яких від розглянутих раніше чашкових, є використання як чутливий елемент крильчатки.

Ці прилади використовують для вимірювання швидкостей потоків у трубах у випадках, коли мають справу з постійним напрямком руху потоку. Крильчатка прикріплена до трубчастої осі, що у свою чергу, приєднана до вимірювального механічного пристрою підрахунку обертів за певний проміжок часу. У простих моделях крильчатка жорстко приєднана до вимірювального блока, в інших – за допомогою гнучкого механічного з'єднання (гнучкий вал) для вимірювань у важкодоступних місцях. Вони є більш чутливими і здатні вимірювати швидкості від 0,1 до 5 м/с. Зараз такі анемометри використовують також і для вимірювання швидкості руху потоків та напрямку руху повітря. На рис. 3 та 4 [6, 7] наведено зовнішній вигляд та будову анемометра ручного крильчатого з рахунковим механізмом типу АСО-3, його технічні характеристики наведені в додатку 1.



Рис. 3. Анемометр ручний крильчатий з лічильниковим механізмом АСО-3 [6].

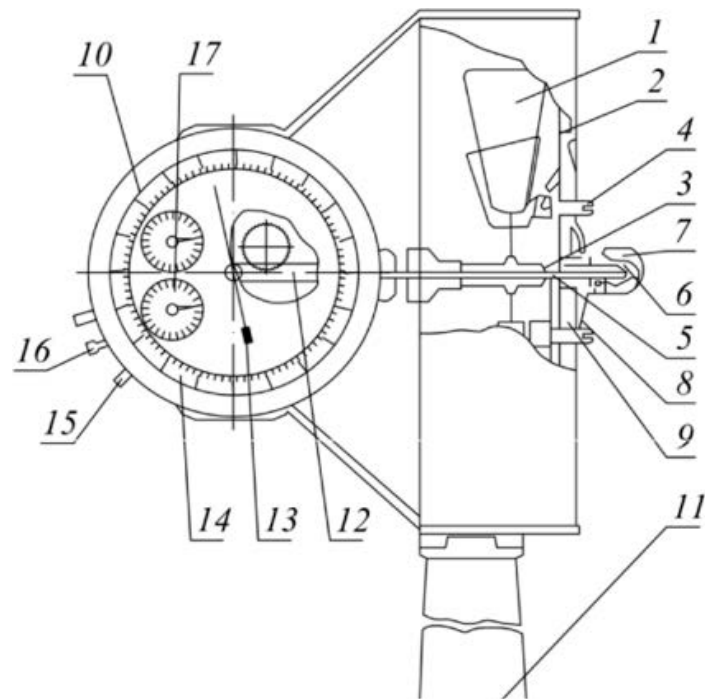


Рис.4. Анемометр ручний крильчатий з лічильним механізмом АСО-3, де: 1 – крильчатка; 2 – стрижень; 3 – трубчаста вісь; 4 – пружина; 5 – вісь сталева; 6 – втулка; 7 – гайка; 8 – пружина; 9 – підшипникова втулка; 10 – стрілка шкали сотень; 11 – ручка; 12 – черв'як; 13 – стрілка шкали одиниць; 14 – циферблат; 15 – вушко; 16 – аретир; 17 – стрілка шкали тисяч.

Загальним недоліком розглянутих вище механічних обертальних анемометрів є неможливість миттєвого визначення руху повітря, для цього необхідно провести розрахунки кількості поділок на циферблаті приладу в секунду, а потім скористатись графіком залежності швидкості руху повітря від кількості поділок за секунду. Тому наступним етапом розвитку приладів цієї групи було створення індукційних, електронних та цифрових обертальних анемометрів. У всіх цих приладів механічний рух крильчатки перетворюється в електричний струм, значення якого проградуєроване в одиницях вимірювання швидкості руху повітря, а потім виводиться на циферблат, цифровий індикатор або рідинно-кристалічний дисплей.

Анемометри ручні індукційні дозволяють вимірювати середню (за 3–6 с) швидкість повітря у межах від 2 до 30 м/с. Типовим представником цієї групи приладів є АРІ-49(рис. 5, 6).



Рис.5. Зовнішній вигляд анемометра ручного індукційного АРІ-49.

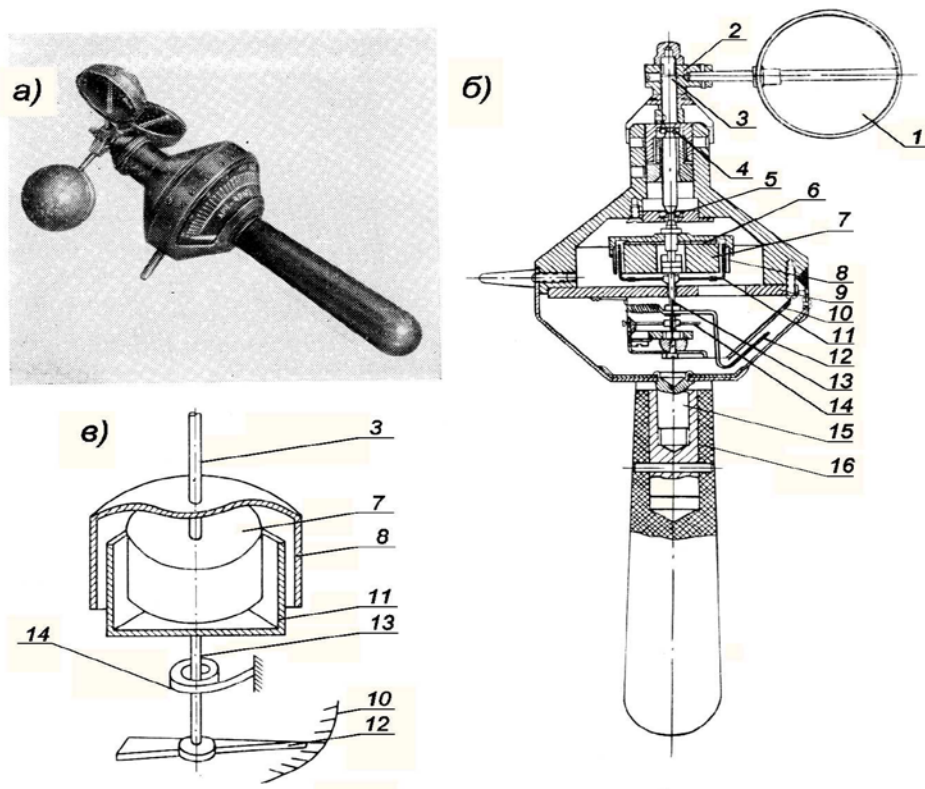


Рис. 6. Схема будови та зовнішній вигляд анемометра ручного індукційного АРІ-49:

а – зовнішній вигляд; *б* – загальний вид; *в* – вузол тахометра; *1* – трьох чашкова вертушка; *2* – втулка; *3*, *13* – осі; *4*, *5* – підшипники; *6* – термокомпенсатор; *7* – постійний магніт; *8* – магнітопровід; *9* – плата; *10* – шкала швидкості; *11* – стаканчик; *12* – стрілка; *14* – пружина; *15* – хвостик; *16* – ручка.

Анемометр АРІ-49 є електромеханічним аналоговим приладом, тобто показання його є неперервною функцією зміни швидкості руху повітря. Первинним перетворювачем в ньому є трьох чашкова вертушка, посаджена на спільну з магнітним тахометром вісь. Взаємодія електромагнітного поля (індукційного струму) та магнітного поля постійного магніту створює приложеній до стаканчику момент: $M_1 = r_1 n$, де n – швидкість обертання магніту (об/с), r_1 – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструктивних особливостей тахометра (лінійних розмірів магніту, зазору, форми, розмірів та числа полюсів магніту, ступені його намагніченості та інше) для даного тахометра r_1 є постійною величиною. Технічні характеристики АРІ-49 наведені в додатку 1. При проведенні вимірювань цим приладом розрахунки робити немає потреби, швидкість руху повітря зазначається стрілкою на шкалі анемометра. Проте недоліком цього приладу було те, що виміряне значення швидкості руху повітря ніяк не фіксувалось на циферблаті приладу.

Тому наступним кроком у розвитку механічних анемометрів став більш досконалий у цьому плані цифровий анемометр АП-1[8], його загальний вигляд наведено на рис.7. Він складається з цифрового вимірювального перетворювача(рис.8) і двох знімних датчиків(крильчастого АП 1-1(рис. 9), як у АСО-3, та чашкового АП 1-2(рис.10), як у МС-13).



Рис. 7. Анемометр цифровий АП-1, де 1 – крильчастий датчик АП 1-1;
2 – цифровий вимірювальний перетворювач ; 3 – чашковий датчик АП 1-2;
4 – блок живлення.

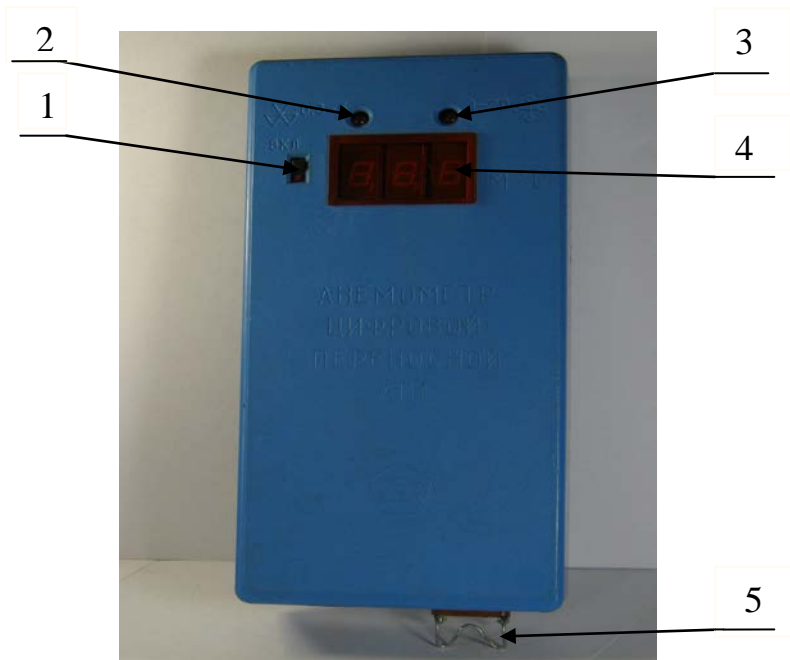


Рис. 8. Цифровий вимірювальний перетворювач анемометра АП-1, де
 1 – тумблер включення; 2 – індикатор датчика АП 1-1; 3 – індикатор датчика
 АП 1-2 ; 4 – цифровий екран; 5 – роз'єм включення датчиків АП 1-1 та АП 1-2.

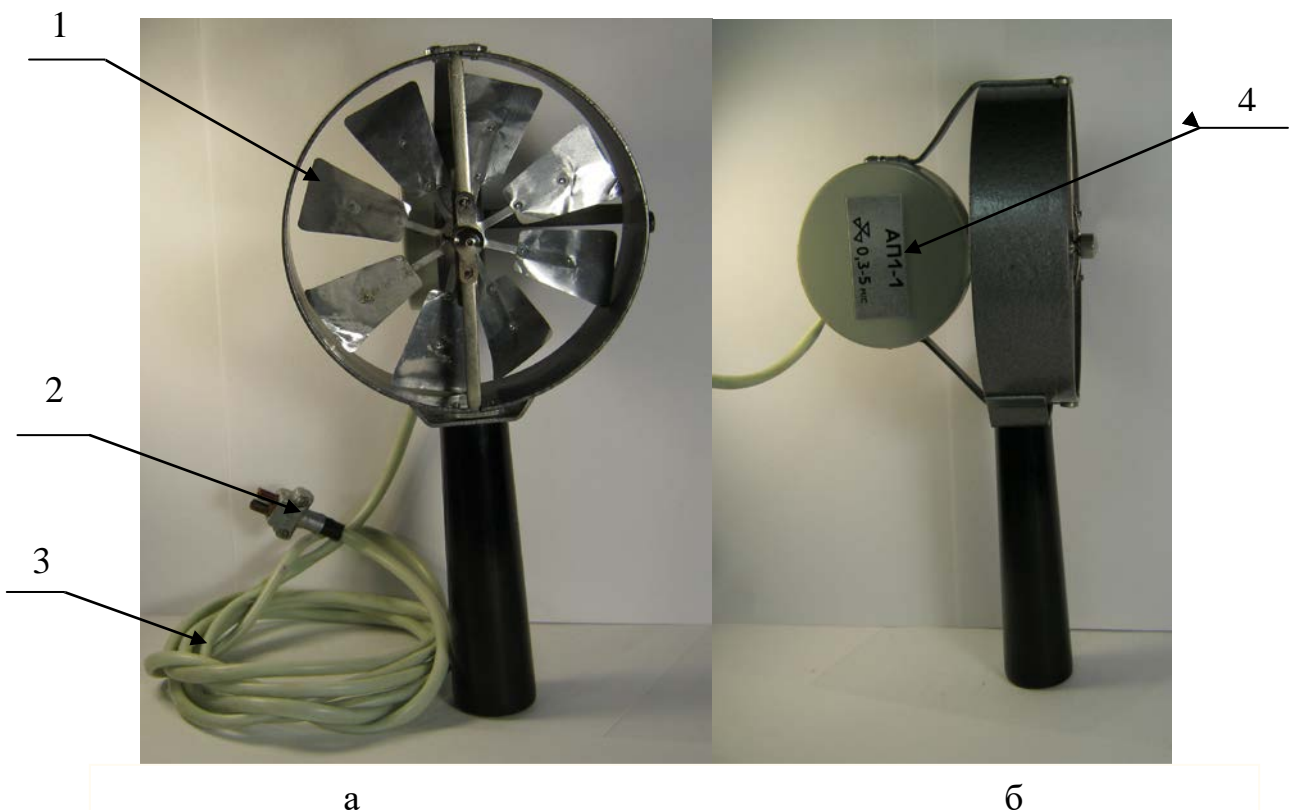


Рис. 9. Крильчастий датчик АП 1-1: а – вид спереду, б – вид збоку,
 1 – крильчатка; 2 – роз'єм ; 3 – трьох дротовий кабель; 4 – корпус.
 Перший призначений для вимірювання швидкості руху повітря від 0,3 до
 5 м/с, і являє собою крильчатку, розміщену на трубчатій втулці, яка, в свою

чергу, обертається на осі, що розміщена всередині неї та виконана у вигляді натягнутої сталевий струни. Принцип дії чутливого елементу датчиків АП 1-1 та АП 1-2 полягає у перетворенні швидкості повітряного потоку, який обертає вітроприймач, на кількість електричних імпульсів. На трубчатій втулці останнього закріплено обтюратор – диск з прорізами, який під час обертання перетворює світловий потік оптопари(яка складається з світлодіоду та фоторезистора) на імпульси прямокутної форми з частотою, пропорційною швидкості обертання вітроприймача. Надалі ці імпульси підсилюються транзисторною схемою на платі перетворення швидкості повітряного потоку в електричний імпульс та надходять на цифровий вимірювальний перетворювач(рис. 8), де і відбувається індикація отриманих значень швидкості руху повітря. Первинний вимірювальний перетворювач АП 1-2(рис. 10) виконаний у вигляді чотирьох чашкової вертушки, яка закріплена на валу, що обертається у двох сапфірових підшипниках ковзання, він призначений для вимірювання швидкості руху повітря від 1 до 20 м/с.

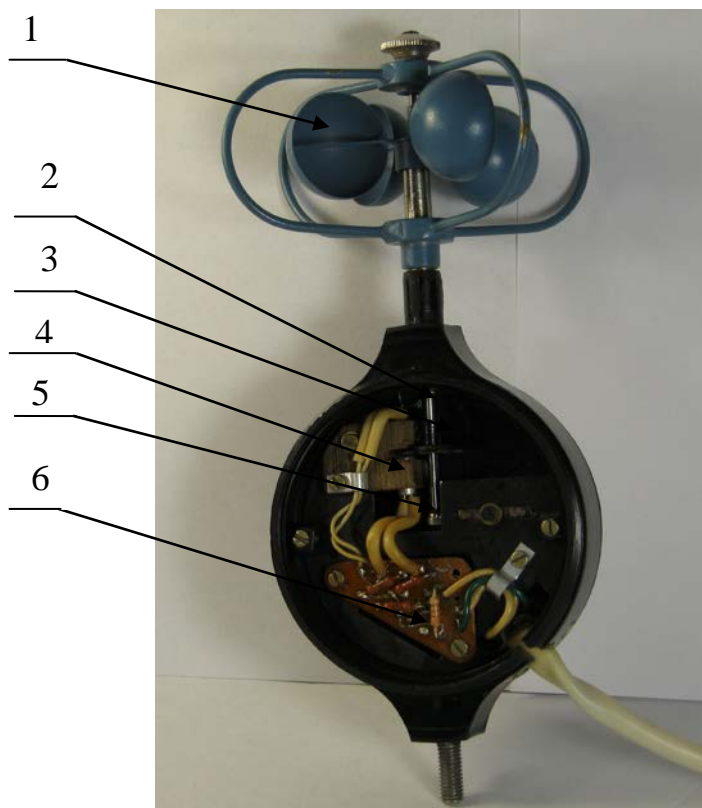


Рис. 10. Чашковий датчик АП 1-2, де 1– чотирьох чашкова вертушка; 2 – вісь; 3 – обтюратор; 4 – оптопара; 5 – підшипник; 6 – плата перетворення швидкості повітряного потоку в прямокутний електричний імпульс.

Анемометр АП-1 вимірює усереднену швидкість руху повітря за 5 с при вимірюванні з крильчастим датчиком та за 10 с – з чашковим відповідно. Живлення приладу здійснюється за допомогою випрямляючого зарядного пристрою, який вмикається в мережу напругою 220 В. При цьому відбувається заряджання блоку з 8 батареї акумуляторного типу загальною максимальною напругою 9,6 В, що дозволяє проводити і дистанційні вимірювання швидкості руху повітря(без прив'язки до мережі 220 В). Більш детальні характеристики анемометра АП 1 наведені в додатку 1.

В нинішній час основною тенденцією розвитку **цифрових** анемометрів є створення приладів, які вимірюють одночасно декілька параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості повітря тощо. Крім того, до функцій окремих моделей цих приладів входять також освітленість E (лк), рівень виробничого шуму L (дБ), визначення концентрації окремих газових складових у повітрі(CO_2 та інш.).

Ці прилади характеризуються високою точністю, роздільною здатністю для всіх вимірювальних параметрів, мають додаткові функції розрахунку максимальної та середньої швидкості руху повітря, індикацію про низький заряд та перевищення вимірювального діапазону, як правило, оснащені рідинно-кристалічним екраном. Вимірювання швидкості руху повітря для зручності може проводитись у різних одиницях (м/с, км/год, милі/год, фути/с, фути/хв., вузли та інш.). Найбільш складні прилади мають можливість підключення до комп'ютера з метою обробки результатів, побудови графіків та подальшого аналізу. Функція автоматичного відключення приладу економить заряд батареї, підсвічування екрану дозволяє працювати при обмеженій освітленості. Одним з таких приладів є крильчастий анемометр BTMETER BT-816B (рис. 11)[9].

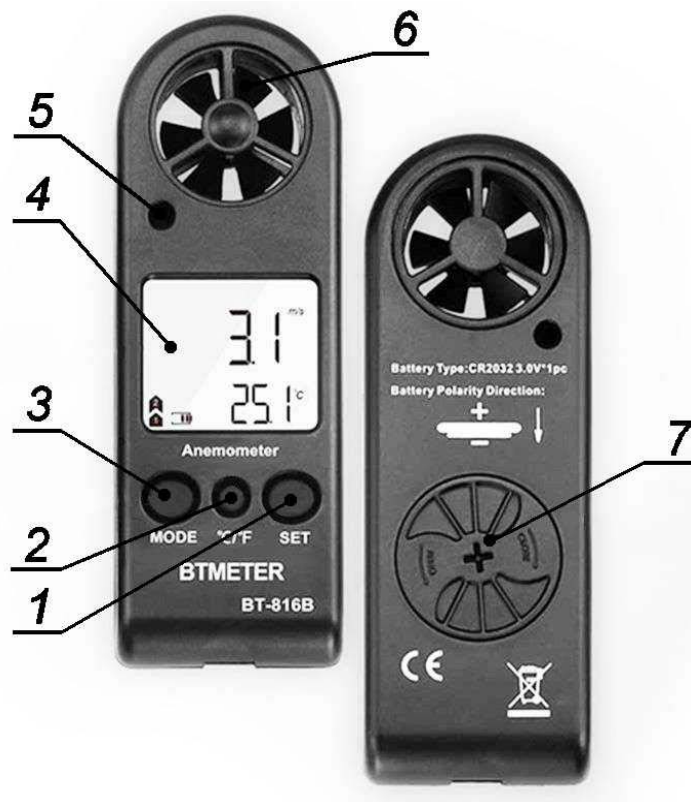


Рис. 11. Зовнішній вигляд та схема будови крильчатого анемометра BTMETER BT-816B, де 1 – кнопка SET(налаштування); 2 – кнопка переходу від °C до °F; 3 – кнопка MODE(режим); 4 – рідинно-кристалічний екран; 5 – датчик температури; 6 – крильчатка; 7 – батарейний відсік.

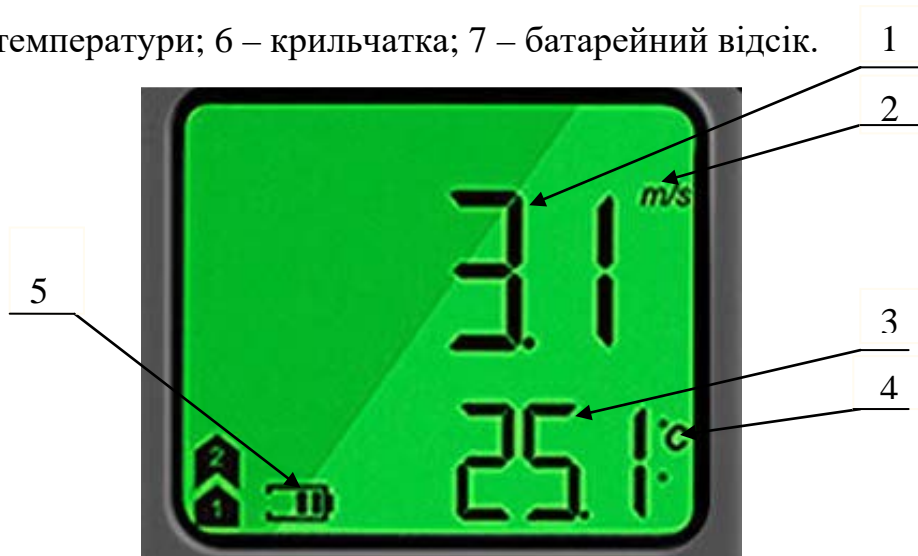


Рис. 12. Рідинно-кристалічний дисплей анемометра BTMETER BT-816B, де 1 – значення швидкості руху повітря; 2 – розмірність швидкості руху повітря; 3 – значення температури; 4 – розмірність температури; 5 – позначення заряду батареї.

У цьому анемометрі мініатюрна крильчатка конструктивно поєднана з

самим приладом. Одиницю вимірювання швидкості руху повітря можна обрати з кількох (**m/s**(метри за секунду); **ft/min**(фути за хвилину); **Knots**(вузли); **km/hr**(кілометр за годину); **mph**(миля за годину). Можна обрати визначення максимального (**max**) або середнього (**avg**) значення цього параметра. Одночасно з вимірюванням швидкості руху повітря вбудованим термометром опору відбувається вимірювання температури(в °C або °F). Вимірювання швидкості руху повітря проводиться в межах від 0 до 30 м/с, а температури в інтервалі від – 10 до 45 °C. Більш детальні характеристики анемометра наведені в додатку 1.

Анемометри розглянутого вище типу можна використовувати лише в умовах наявності постійного потоку повітря.

1.3. Вихрові анемометри.

У роботі вихрових анемометрів використовується фізичне явище, яке полягає у тому, що при обтіканні рідиною або газом протяжних циліндричних тіл (або інших лінійно витягнутих погано обтічних профілів) з поздовжньою віссю, перпендикулярною до напрямку руху суцільного середовища, з підвітряного боку перешкоди утворюються ланцюжки вихорів. Останні отримали назву вихрові доріжки Т.Кармана. Ці вихори виникають з частотою, яку В. Строугал(чеськ. Vincenc (Čeněk) Strouhal) визначив за формулою[11]: $f = u/Sd$, де S – число Струхаля, u – швидкість потоку, d – діаметр циліндра, f – частота. Слід зазначити, що S є постійною, що дорівнює значенню, близькому до 5, в усьому діапазоні чисел Рейнольдса. Так, при швидкості 50 м/с та діаметрі циліндра 1 см частота дорівнює 1000 Гц, а при 5 м/с – 100 Гц. Встановлено, що відстань між вихорами приблизно в 2,5 разів перевищує діаметр циліндра.

Перевага цього методу вимірювання швидкості руху повітря полягає в тому, що частота f лінійно пов'язана зі швидкістю, тому (теоретично) калібрування не потрібно. Точність встановлення швидкості руху повітря залежить від надійності методу виявлення вихорів. Останні можна виявити, випускаючи на їхньому шляху ультразвукову хвилю, при цьому змінюється швидкість її повертання до датчика, що дозволяє визначити швидкість руху

повітря. Іншим методом виявлення вихорів є застосування температурного датчика, чутливою частиною якого є металева нитка розжарювання. Зміна сили струму, яка потрібна на підтримання постійної температури цієї нитки, теж дозволяє визначити швидкість руху повітря. Різні моделі цих анемометрів можуть ефективно вимірювати швидкість руху повітря від 1,5 до 77 м/с[12].

Конструкція вихрового анемометра є подібною до обертового(крильчастого або чашкового) анемометра, зовнішній вигляд такого анемометра марки VORTEX POLE MOUNT 200 наведений на рис. 12, а його характеристики в додатку 1.



Рис. 12. Вихровий анемометр VORTEX POLE MOUNT 200[12].

У наступних груп приладів вимірювання руху повітря відсутні обертові механізми, до них належать теплові, ультразвукові, динамометричні та лазерні доплерівські анемометри. Технічні характеристики типових приладів цих груп наведені у додатку 1.

1.4. Теплові анемометри.

Принцип роботи теплового анемометра(термоанемометра) (рис.13)[13] полягає у вимірюванні температури металевої пластини чи нитки розжарювання, яка обдувається вітром.



Рис. 13. Тепловий анемометр з телескопічним зондом WALCOM HT-9829[13].

Залежно від швидкості вітру необхідна різна енергія для того, щоб підтримувати температуру сталою. Тобто за температурою пластини можна визначити швидкість вітру. Деякі їх моделі можуть вимірювати швидкість руху повітря майже від 0 м/с, а верхня межа може досягати 35 м/с. Такі анемометри використовуються для вимірювання швидкостей повільних потоків та характеризуються низькою інерційністю, проте потребують постійного калібрування.

1.5. Ультразвуковий анемометр

Принцип роботи ультразвукових анемометрів(рис.14)[14] ґрунтується на тому, що звук (ультразвук) поширюється швидше у напрямку дії вітру. Вони вимірюють величину швидкості вітру у межах 0 – 75 м/с, характеризуються високою чутливістю (до 0,01 м/с), малою статичною похибкою (до 1%), високими показниками динамічних характеристик (інерційність не більше

0,01с). Перевагою цих приладів є також можливість проведення дослідження мікроструктур повітряних потоків, включаючи турбулентні пульсації швидкості вітру, перенесення слабких струменів, що особливо важливо для контролю ступеню забруднення повітря.



Рис. 14. Ультразвуковий анемометр ULTRASONIC 3D[14].

Конструктивно розрізняють двовимірні та тривимірні ультразвукові анемометри. Двовимірний анемометр може вимірювати швидкість і напрямок тільки горизонтальних потоків повітря. Тривимірний анемометр здатний проводити вимірювання трьох компонентів напрямку руху вітрового потоку у тривимірному просторі. Принципова схема приладу виглядає так. Вздовж кожної осі розташовано дві пари передавач – приймач. Передавач посилює безперервні або імпульсні ультразвукові хвилі. Залежно від напрямків

поширення вітру з ультразвуковою хвилею час проходження останньою відстані d між передавачем та приймачем визначається за формулами: $t_1 = d / (V_{y3} + V_i)$; $t_2 = d / (V_{y3} - V_i)$, де V_{y3} – швидкість поширення ультразвукової хвилі, V_i – швидкість поширення проекції вектора вітру на вісь i . Різниця в часі проходження відстані d між передавачем та приймачем двома ультразвуковими хвилями становить: $\Delta t = 2dV_i / (V_{y3}^2 - V_i^2)$.

Недоліком цього типу анемометрів є залежність швидкості поширення ультразвуку від температури, вологості, атмосферного тиску, проте вони можуть вимірювати і напрямок руху повітря та температуру.

1.6. Динамометричні анемометри.

Принцип роботи динамометричних анемометрів полягає у вимірюванні різниці надлишкового тиску всередині Γ – подібної трубки(трубки Піто), закритої з одного кінця і зовнішнім середовищем. За цим перепадом тиску визначається швидкість руху потоку повітря та витрати останнього. Вимірювана швидкість руху повітря лежить в межах 0,3 - 80 м/с. Також слід зазначити, що термоанемометри можуть комплектуватись додатково трубкою Піто. Застосовуються динамометричні анемометри для визначення відносної швидкості і об'ємної витрати в газоходах і вентиляційних системах. На рис. 15[15, 16] представлено термоанемометр GM8903 VENETECH з трубкою Піто, а на рис. 16 – дифманометр-вимірювач швидкості та витрати повітря з трубкою Піто SEM DT-8920[17].



а

б

Рис. 15. Термоанемометр GM8903 VENETECH: *а* – з температурним датчиком; *б* – трубкою Піто) [15, 16].



Рис. 16. Дифманометр-вимірювач швидкості та витрати повітря SEM DT-8920 з трубкою Піто[17].

1.7. Оптичні (лазерні доплерівські) анемометри.

Лазерна доплерівська анемометрія – це безконтактний спосіб вимірювання швидкостей. Цей тип анемометрів працює за принципом залежності частоти світла, відбитого чи розсіяного рухомим об'єктом (ефект Доплера), від швидкості цього об'єкта. Згаданий вище ефект полягає в тому, що, при відносному переміщенні джерела та приймача електромагнітних коливань, частота коливань, прийнятих приймачем ν_1 , відрізняється від частоти джерела ν_0 . У цьому випадку[2]: $\nu_1 = \nu_0(1 \pm w/a(\cos \beta))$, де w – швидкість відносного руху; a – швидкість світла; β – кут між направленням руху джерела та лінією, що з'єднує приймач та джерело. Знак «плюс» відповідає наближенню джерела, а «-» віддаленню. Ефект Доплера має місце також при розсіянні направлено випромінювання джерела на частках середовища, що рухається. Цей частотний зсув безпосередньо пов'язаний зі швидкістю частинок, і, отже, лазерна доплерівська анемометрія є абсолютним методом вимірювання, який не вимагає будь-якого калібрування. Цей метод дозволяє безконтактне вимірювання швидкості потоку газоподібних, рідких і твердих середовищ, що містять неоднорідності, які розсіюють світло та дозволяє вимірювати повільні направлені рухи у капілярах та живих клітинах, проводити дистанційні вимірювання турбулентної швидкості потоків газу в надзвукових трубах та швидкості вітру в атмосфері. Величини швидкостей можуть мати значення від декількох **мкм/с** до **км/с**. Лазерні анемометри допомагають розрахувати швидкість вітру навколо автомобілів, літаків, потягів і космічних апаратів. На рис. 17[18] представлено лазерний доплерівський анемометр фірми DANTEC DYNAMICS A/S.

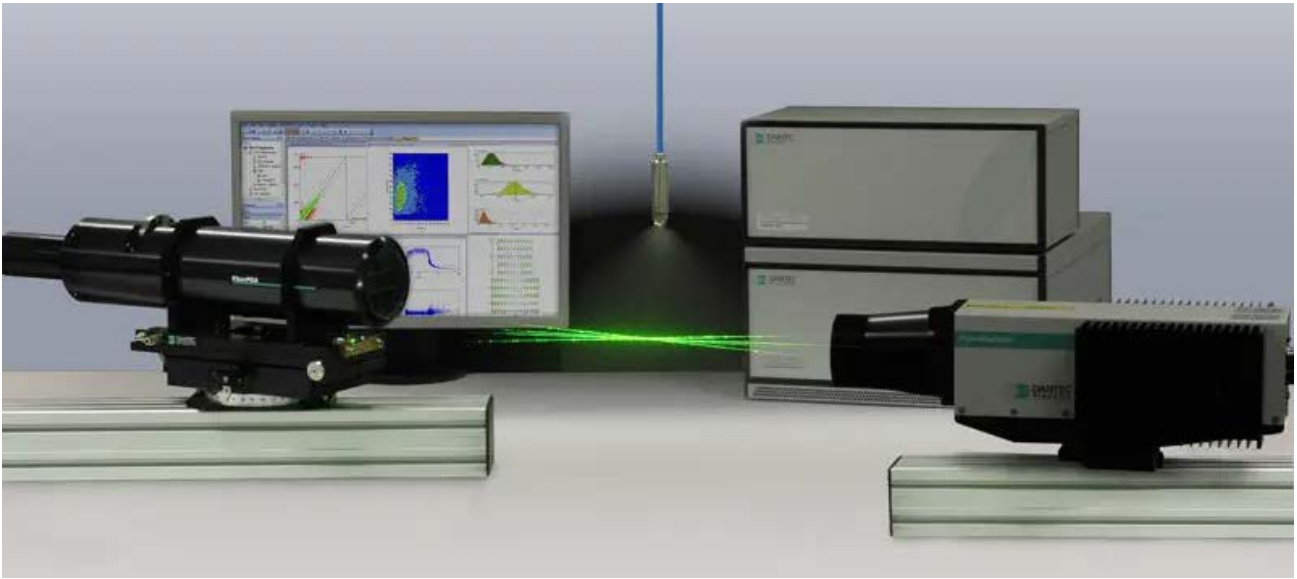


Рис. 17. Доплерівський фазовий анемометр фірми DANTEC DYNAMICS A/S

2. ПІДГОТОВКА ПРИЛАДІВ ДО РОБОТИ ТА НАЛАШТУВАННЯ ЇХ ПАРАМЕТРІВ.

Для вимірювання швидкості руху повітря в якості лабораторних приладів застосовуються: кататермометр з кульовим резервуаром (рис. 1), анемометр ручний чашковий МС-13 (рис. 2), анемометр ручний крильчатий з лічильниковим механізмом АСО-3 (рис. 3), анемометр ручний індукційний АРІ-49 (рис. 5), анемометр цифровий АП-1 (рис. 7-10), цифровий крильчатий анемометр ВТМЕТЕР ВТ-816В (рис. 11, 12).

Перед проведенням лабораторної роботи необхідно насамперед вивчити схему улаштування та будову зазначених вище приладів.

3. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.

Вимірювання швидкості руху повітря кататермометром.

Установити фактор кататермометра F , що нанесений на стінці приладу. Опустити кататермометр у лабораторну ємність відповідного розміру з гарячою водою (65–75 °С) і нагрівати його доти, доки спирт не заповнить половину верхнього розширення приладу.

Витягнути кататермометр з води, обережно витерти його насухо за допомогою м'якої тканини(паперових салфеток) і повісити на штативі у місці вимірювання. При цьому є дуже важливим, щоб кататермометр під час спостереження знаходився у непорушному стані, бо інакше буде імітуватись додатковий рух повітря. Вимірювання в одній точці повторюють кілька разів, відкидають перший результат(для зменшення гістерезису лінійних розмірів кататермометра), а з наступних виводять середнє значення величини охолодження(H). Розрахунок величини охолодження кататермометра проводить за формулою:

$$H = (\Phi(t_1 - t_2)) / \tau_{\text{сєр}} , \quad (1.1)$$

де H – величина охолодження, мкал;

Φ – стала кататермометра, яка дорівнює $\Phi = F/3$;

$t_1 - t_2$ – інтервали температур в °С (40-33, або 39-34);

$\tau_{\text{сєр}}$ – середня кількість секунд, протягом яких значення температури на кататермометрі знизилось у відповідних температурних інтервалах.

Далі необхідно розрахувати Δt – різницю між середньою точкою шкали кататермометра та середньою температурою повітря навколишнього середовища, де проводять дослідження, за формулою:

$$\Delta t = 36,5 - t_{\text{повітря(сєр)}} , \quad (1.2)$$

де 36,5 °С – середня точка шкали кататермометра, °С,

$t_{\text{повітря(сєр)}}$ – середня температура повітря в навколишньому середовищі, де проводять дослідження, °С, останню розраховують за формулою (1.3).

$$t_{\text{повітря(сєр)}} = (t_1 + t_2 + t_3) / 3 , \quad (1.3)$$

де t_1, t_2, t_3 – виміряні температури навколишнього середовища.

Тепер, знаючи величину охолодження (H) та (Δt), швидкість руху повітря V обчислюють за формулою(1.4):

$$V = [((H/\Delta t) - A)/B]^2, \quad (1.4)$$

де H – величина охолодження(ф. 1.1); Δt – різниця між середньою точкою шкали кататермометра та середньою температурою повітря(ф. 1.2); A і B – константи, величина яких приймаються залежно від значення відношення $(H/\Delta t)$, так, при $H/\Delta t < 0,6$, приймають $A = 0,205$; $B = 0,385$; а при $(H/\Delta t) > 0,6$, $A = 0,13$; $B = 0,47$.

Знаючи відношення $H/\Delta t$ швидкість руху повітря можна приблизно визначити і не користуючись формулою 1.4, а за додатком 2. Результати вимірювань та і обчислень занести в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати вимірювань швидкості руху повітря кататермометром

Номер заміру	F	Φ	$t_1 - t_2$	τ	$\tau_{\text{сеп}}$	H	$f_{\text{ср}}$	$t_{\text{повітря (сеп)}}$	Δt	$H/\Delta t$	$V, \text{ м/с}$	
											розрахункове	табличне
1												
2												
3												

Приклад

Дослідником проводилось визначення швидкості руху повітря в аудиторії 203 ГАК Національного технічного університету "ХПІ". Значення фактора кататермометра F дорівнювало 573 мкал/см^2 . Температура повітря в різних частинах аудиторії під час дослідження складала $17, 18$ та 19°C . Перший результат вимірювання часу падіння температури від 40 до 33°C з зазначених вище причин було відкинуто. Наступні три вимірювання у цьому інтервалі показали, що $\tau_1 = 180$, $\tau_2 = 193$ та $\tau_3 = 188$ секунд. Розрахунок величини охолодження H кататермометра проведемо за формулою 1.1, враховуючи, що $\Phi = 573/3 = 191$, $\tau_{\text{сеп}} = 187$:

$$H = (\Phi(t_1 - t_2))/\tau = 191(40-33)/187 = 7,15 \text{ ((мкал/см}^2\text{)} \cdot ^\circ\text{C)/с)}.$$

Розрахуємо за формулою(1.2) Δt , розрахувавши за ф.(1.3):

$$t_{\text{повітря(сеп)}} = 17 + 18 + 19 = 18^\circ\text{C, тоді}$$

$$\Delta t = 36,5 - 18 = 18,5^\circ\text{C};$$

Після цього підставимо розраховані вище значення (H) і (Δt) та визначимо швидкість руху повітря V за формулою 1.4. При цьому попередньо визначимо, що

відношення $H/\Delta t = 0,386$, відповідно, у цьому випадку $A = 0,205$; $B = 0,385$. Тоді формула 1.4 набуває вигляду: $V = [((7,15 / 18,5) - 0,205) / 0,385]^2 = 0,222$ м/с.

Знаючи відношення $H/\Delta t = 0,386$, за додатком 2 методом інтерполяції визначаємо $V_{\text{табличне}} = 0,225$ м/с. Отримані значення занесемо в табл. 1.1.

Таблиця – Результати вимірювань швидкості руху повітря кататермометром

Номер заміру	F	Φ	$t_1 - t_2$	τ	$\tau_{\text{сер}}$	H	$t_{\text{по-вітря-ря (сер)}}$	Δt	$H/\Delta t$	V , м/с розрахункове	V , м/с табличне
1	573	191	7	180	187	7,15	18	18,5	0,386	0,222	0,225
2				193							
3				188							

Вимірювання швидкості руху повітря анемометрами

МС-13(чашковим) та АСО-3 (крильчастим).

Ознайомитися з улаштуванням і принципом дії анемометрів МС-13 (рис. 2) та АСО-3 (рис. 3 та 4).

Встановити та записати в табл.1.2 початкове показання приладу за всіма трьома шкалами (тисячі, сотні, десятки).

Помістити анемометр у потік повітря на відстані 0,5 – 0,7 м від вентилятора (або рушія повітря).

Увімкнути одночасно анемометр і секундомір.

Після закінчення 30 с виключити одночасно анемометр і секундомір. Зняти показання. Дослід повторити три рази.

Полічити кількість поділок анемометра i , що припадають на одиницю часу за формулою 1.5:

$$i = \frac{N - N_0}{t}, \quad (1.5)$$

де N_0 і N – початкове і кінцеве показання анемометра, відповідно; t – час дослідження заміру, с.

Користуючись графіками у додатках 4 та 5, визначити швидкість руху повітря.

Отримані дані звести в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати вимірювань швидкості повітря анемометрами МС-13(чашковим) та АСО-3 (крильчастим).

Вид анемометра	Номер заміру	Показання прилада		Різниця між показаннями приладу $N - N_0$	Час дослідження, с	Кількість поділок у секунду i , 1/с	Швидкість руху повітря, визначена за графіком, м/с
		до заміру N_0	після заміру N				
МС-13 (чашковий)	1.						
	2.						
	3.						
	сер.						
АСО-3 (крильчастий)	1.						
	2.						
	3.						
	сер.						

Вимірювання швидкості руху повітря анемометрами АРІ-49, АП-1 та ВТМЕТЕР ВТ-816В

Ознайомитися з улаштуванням і принципом дії анемометрів АРІ-49, АП-1 та ВТМЕТЕР ВТ-816В та підготувати ці прилади до роботи.

Для цього прилад АРІ-49(рис.5, 6) достатньо вийняти з футляру та внести його в потік повітря. Не виймаючи прилад з останнього занести отримані значення в табл. 1.3. Дослід виконати 3 рази.

Цифровий анемометр АП-1(рис.7) необхідно вийняти з футляру, в якому він зберігається, і з'єднати між собою цифровий вимірювальний перетворювач; чашковий датчик АП 1-2(рис. 9б) та блок живлення. Тільки після цього ввімкнути блок живлення в мережу 220 В і перевести вимикач на передній панелі цифрового перетворювача в положення "вкл.". Відразу засвітиться цифровий екран та індикатор датчика АП 1-2. Помістити датчик АП 1-2 у струмінь повітря, швидкість руху якого будемо досліджувати. Через 10 с занести отримане значення в таблицю 1.3, дослід повторити 3 рази та занести в табл. 1.3. У випадку, якщо виміряна датчиком АП 1-2 швидкість руху повітря менше 5 м/с, цей дослід можна проводити, застосовуючи датчик АП 1-1(рис. 9а).

Для проведення вимірювань крильчатим анемометром BTMETER BT-816B(рис.11 та 12) необхідно, вийнявши його з футляру, натиснути кнопку "MODE". При цьому ввімкнеться на кілька секунд додаткове освітлення рідинно-кристалічного дисплею(рис. 12). Якщо встановлені на ньому одиниці вимірювання швидкості руху повітря(наприклад, м/с) задовольняють вимогам експерименту, тоді внести анемометр в потік повітря, при цьому останній повинен бути перпендикулярний крильчатці. Не виймаючи прилад з потоку повітря, занести отримані значення в табл. 1.3. Дослід виконати 3 рази.

У випадку, якщо одиниці вимірювання швидкості руху повітря не задовольняють вимогам експерименту, необхідно провести настроювання останніх. Для цього натиснути кнопку "SET", зображення зникне, лише у правому кутку буде мигати значення розмірності швидкості руху повітря. Натискуючи на кнопку "MODE" обрати розмірність швидкості руху повітря (**m/s**(метри за секунду); **ft/min**(фути за хвилину); **Knots**(морські вузли); **km/hr**(кілометр за годину); **mph**(міля за годину). Також можна встановити, щоб прилад визначав максимальну швидкість вітру – "max" або середню швидкість вітру – "avg".

Таблиця 1.3 Результати вимірювань швидкості повітря анемометрами API-49, АП-1 та BTMETER BT-816B

Вид анемометра	Номер заміру	Швидкість руху повітря, м/с
API -49	1.	
	2.	
	3.	
	сер.	
Анемометр цифровий АП-1	1.	
	2.	
	3.	
	сер.	
BTMETER BT-816B	1.	
	2.	
	3.	
	сер.	

4. ЗВІТ.

1. Назва, мета роботи.
2. Стислий опис характеристик сучасних типів анемометрів, переваги та недоліки кожного з їх типів.
3. Таблиці результатів та розрахунки швидкості руху повітря за допомогою кататермометра, анемометрів МС-13 та АСО-3, АРІ-49, АП-1 та ВТМЕТЕР ВТ-816В.
4. Аналіз результатів.
5. Висновки.

5. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1. Назвати основні групи та види приладів, які вимірюють швидкість руху повітря.
2. У чому полягає сутність вимірювання швидкості руху повітря кататермометром?
3. Які види анемометрів ви знаєте?
5. Поясніть, які принципи дії покладені в основу конструкцій обертальних анемометрів?
6. У чому відмінності у принципах реєстрації швидкості руху повітря анемометрів МС-13, АСО-3, АРІ-49, АП-1 та ВТМЕТЕР ВТ-816В?
7. Яке фізичне явище лежить в основі роботи вихрових анемометрів, які у них є переваги та недоліки?
8. Укажіть принцип дії теплового анемометра, які у них є переваги та недоліки?
9. У чому полягає принцип дії ультразвукового анемометра, які переваги та недоліки він має?
10. Укажіть принцип дії динамометричних анемометрів, які у них є переваги та недоліки?

11. Які переваги та недоліки притаманні доплерівським анемометрам? У чому полягає їх принцип дії?
12. Які характеристики дозволяють вимірювати сучасні цифрові анемометри, у чому їх переваги перед попередніми типами приладів вимірювання руху повітря?

Список джерел інформації

1. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Затверджений постановою головного держсан. лікаря від 01.12. 1999 р. № 42.
2. Текст лекцій з дисципліни «Системи контролю небезпечних та шкідливих виробничих факторів» для студентів за напрямом підготовки 263 «Цивільна безпека»/Є.В. Ящерицин. – Харків: ТОВ «Планета-Прінт», 2021. – 360 с.
3. Кататермометр шаровой. – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/6759731/page:12/>
4. Анемометр – Вікіпедія – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80>
5. Анемометр МС-13. – Електронний ресурс. Режим доступу: www.systopt.com.ua/ru/item-anemometr-ms-13
6. Анемометр АСО-3. – Електронний ресурс. Режим доступу: Источник: <https://www.systopt.com.ua/ru/item-anemometr-aso-3>
7. Крыльчатые анемометры. – Електронний ресурс. Режим доступу: https://ozlib.com/956823/tehnika/krylchatye_anemometry
8. Анемометр АП-1(2 датчика как у АСО-3 и МС-13) – 4044-00003. – Електронний ресурс. Режим доступу: https://chemtest.com.ua/previews/_-1_.pdf

9. BTMETER BT-816B Handheld Anemometer with Wind Speed Range 0.3 - 30m/s. – Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.btmeter-store.com/ru/products/btmeter-bt-816b-handheld-anemometer-with-wind-speed-range-0-3-30m-s>
10. Measuring the natural environment/ Ian Strangeways, 2003. – Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.google.com.ua/books/edition/Measuring_the_Natural_Environment/oTSJ6NGFSuQC?hl=uk&gbpv=1&dq=vortex+anemometer&pg=PA85&printsec=frontcover
11. Pole Mount Vortex Anemometer FLEXWIRE – Электронный ресурс. Режим доступа: <https://maisonastronomie.ca/en/product/e-pole-mount-vortex-anemometer-flexwire/>
12. PM200 / INSPEED เครื่องวัดความเร็วลม VORTEX POLE MOUNT 200'. – Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.ponpe.com/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B9%87%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%A1/pm200-detail.html>
13. Термоанемометр з телескопічним зондом WALCOM HT-9829. – Электронный ресурс. Режим доступа: https://prom.ua/ua/p1612327315-termoanemometr-teleskopicheskim-zonom.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm_campaign=Pmax_cpa_50_avto_moto&gclid=Cj0KCQjw06-oBhC6ARIsAGuzdw1FBEdwMm8JTCg1yD7ELbSrQcIoYYjO_i3xXzU-NIJ_3dVb0-3PRWIaAtcFEALw_wcB
14. ULTRASONIC 3D | УЛЬТРАЗВУКОВОЙ АНЕМОМЕТР – Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.adal-meteo.kz/ultrazvukovoi_datchik_skorosti_i_napravleniya_vetra_ultrasonic_anemometer_3d.html

15. Анемометр з трубкою Піто USB (0,3~30 м/с) GM8903 BENETECH – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://stotools.com.ua/ua/gm8903/>
16. Анемометр з трубкою піто USB (0,3~30 м/с) BENETECH GM8903 (Китай) – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p1391500694-anemometr-trubkoj-pito.html>
17. Дифманометр-вимірювач швидкості та витрати повітря з трубкою Піто СЕМ DT-8920. – Електронний ресурс. Режим доступу: https://thermolab.net.ua/ua/p1457521397-difmanometr-izmeritel-skorosti.html?source=merchant_center&gclid=CjwKCAjw38SoBhB6EiwA8EQVLiWRcfgCxfiPAZSfMyJSEKdSFV1rUR6GjsiEtcTUPHtWmByg4lPvuBoCR9UQAvD_BwE
18. Anémomètre à phase Doppler. – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.directindustry.fr/prod/dantec-dynamics-s/product-15753-544483.html>
19. ЛАД-056. – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ioit.ru/new/index.php/productsiya/item/231-lad-056>
<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fioit.ru%2Fnew%2Findex.php%2Fproduktsiya%2Fitem%2F231-lad-056&psig=AOvVaw2QmZw7jJ8o9yMyB9lC-Emv&ust=1706553537083000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQQjhXqFwoTCIj7icLdgIQDFQAAAAAdAAAAABAQ>
20. Кататермометр шаровой – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/6759731/page:14/>
21. Методи та прилади для вимірювання параметрів мікроклімату. – Електронний ресурс. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5011348/page:2/>

ДОДАТОК 1. Порівняльні характеристики анемометрів різних типів[2, 5, 6, 8, 9, 11-17, 19] *

Назва приладу, марка	Фірма, країна виготовлення	Принцип дії	Діапазон вимірювань, м/с	Точність вимірювань, м/с, mph або %.	Поріг чутливості, м/с	Примітка
Анемометр ручний чашковий з рахунковим механізмом МС-13[5]	НВО «Сигнал», Узбекистан,	Перетворення обертання в переміщення стрілок рахункового механізму	1–20	$\pm(0,3+0,05V)$	0,8	–
Анемометр ручний з рахунковим механізмом АСО-3[6]	НВО «Сигнал», Узбекистан,	Перетворення обертання в переміщення стрілок рахункового механізму	0,3–5	$\pm(1+0,06V)$	0,2	–
Анемометр ручний індукційний АРІ-49[2]	НВО «Сигнал», Узбекистан	Залежність між частотою обертання та силою магнітного потоку	2–30	$\pm(0,5+0,05V)$	1,5	–
Анемометр цифровий АП-1[8]	НПО «Нефтегаз-автоматика», м. Москва, (Росія)	Перетворення швидкості повітряного потоку, на кількість електричних імпульсів.	0,3–5,0	$0,1 + 0,05V$	0,2	Має 2 датчика: АП 1-1 і АП 1-2.
			1–20	$0,3 + 0,05V$	0,8	
Анемометр BTMETER BT-816B[9]	CN, Китай	Перетворення швидкості вітру в електричну напругу	0,3–30	$\pm 5\%$	0,1	Має функцію вимірювання температури
Анемометр VORTEX POLE MOUNT 200 [11, 12]	Isweek, Китай	Перетворення швидкості руху повітря в вихорах, які утворюються при обтіканні анемометра повітрям, в електричний сигнал	1,5–64,3 (3 mph – 125 mph)	0,5 mph від 4 до 10 mph; $\pm 4\%$ від 10 до 50 mph; оцінюється в межах $\pm 4\%$ більше 50 mph	0,25 (0,5 mph)	–

Продовження ДОДАТКА 1

Назва приладу, марка	Фірма, країна, виготовлення	Принцип дії	Діапазон вимірювань, м/с	Точність вимірів, м/с	Поріг чутливості, м/с	Примітка
Тепловий анемометр з телескопічним зондом WALCOM HT-9829[13]	WALCOM, Китай	Збільшення тепловитрат нагрітого тіла при зростанні швидкості обдування більш холодним газом	0,1–25	$\pm 5 \% + 0,1$	0,01	Швидкість руху повітря вимірює в м/с, км/год, фут/хв, вузлах, милях/год. Вимірює і температуру повітря в °C /°F .
Ультразвуковий анемометр ULTRASONIC 3D[14]	Adolf Thies GmbH&C, Німеччина	Залежність швидкості поширення ультразвуку від напрямку руху повітря	0–85	$\pm(0,1 \text{ м/с} + 1 \%)\text{V}$ (от 0 до 35 м/с) $\pm 2 \% \text{ V}$ (от 35 до 65 м/с) $\pm 3 \% \text{ V}$ (от 65 до 85 м/с)	0,01	Вимірює також напрямок вітру від 0 до 360° / 540° / 720° і температуру від –50 °C до +80 °C.
Термоанемометр GM8903 BENETECH [15, 16].	BENETECH, Китай	Температурний датчик працює за принципом теплового, а динамометричний - вимірювання різниці надлишкового тиску всередині Г – подібної трубки (Піто)	0–30	$\pm 3 \% \pm 0,1 \text{ м/с}$	0,001	Має температурний та динамометричний датчики вимірювання руху повітря. Передача інформації на комп'ютер по USB, також вимірює температуру в інтервалі 0-45 °C.
Дифманометр-вимірювач швидкості та витрати повітря з трубкою Піто CEM DT-8920[17]	CEM Instruments, Китай	Вимірювання різниці надлишкового тиску всередині Г – подібної трубки (Піто)	1 – 80	$\pm 2,5 \%$ при швидкості потоку до 10 м/с	0,001	Вимірює також значення тиску і його перепаду, температур, й об'єму потоку повітря.

Продовження ДОДАТКА 1

Назва приладу, марка	Фірма, країна, виготовлення	Принцип дії	Діапазон вимірювань, м/с	Точність вимірів, м/с	Поріг чутливості, м/с	Примітка
Лазерний анемометр Доплера ЛАД - 056 [19]	Інститут оптико-електронних інформаційних технологій, Росія	Ефект Доплера	Компонента X, Y $\pm 0,01-30$ Компонента Z $\pm 0,01-100$	Компонента X, Y $\pm 0,5$ Компонента Z $\pm 1,5$	—	Вимірювач включає в себе елементи пасивного аеродинамічного захисту зовнішніх оптичних поверхонь від пилу та атмосферного аерозолю

*Примітка. Більш детальні технічні характеристики пірометрів наведені в джерелах [2, 5, 6, 8, 9, 11-17, 19].

ДОДАТОК 2 – Визначення швидкості руху повітря по показаннях кататермометра за умови, якщо вона менше 1 м/с)[20].

$H/\Delta t$	Температура повітря, °С							
	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	26,0
0,27	-	-	-	-	0,041	0,047	0,051	0,059
0,28	-	-	-	0,049	0,051	0,061	0,070	0,070
0,29	0,041	0,050	0,051	0,061	0,067	0,076	0,085	0,089
0,30	0,051	0,060	0,065	0,073	0,082	0,091	0,101	0,104
0,31	0,061	0,070	0,079	0,088	0,098	0,107	0,116	0,119
0,32	0,076	0,085	0,094	0,104	0,113	0,124	0,136	0,140
0,33	0,091	0,101	0,110	0,119	0,128	0,140	0,153	0,159
0,34	0,107	0,115	0,129	0,139	0,148	0,160	0,174	0,179
0,35	0,127	0,136	0,145	0,154	0,167	0,180	0,196	0,203
0,36	0,142	0,151	0,165	0,179	0,192	0,206	0,220	0,225
0,37	0,163	0,172	0,185	0,198	0,212	0,226	0,240	0,245
0,38	0,183	0,197	0,210	0,222	0,239	0,249	0,266	0,273
0,39	0,208	0,222	0,232	0,244	0,257	0,274	0,293	0,301
0,40	0,229	0,242	0,256	0,269	0,287	0,305	0,323	0,330
0,41	0,254	0,267	0,282	0,299	0,314	0,330	0,349	0,364
0,42	0,280	0,293	0,311	0,325	0,343	0,361	0,379	0,386
0,43	0,320	0,324	0,342	0,356	0,373	0,392	0,410	0,417
0,44	0,340	0,354	0,368	0,385	0,401	0,417	0,445	0,449
0,45	0,366	0,381	0,398	0,412	0,429	0,449	0,471	0,473
0,46	0,396	0,415	0,429	0,446	0,465	0,483	0,501	0,508
0,47	0,427	0,445	0,464	0,482	0,500	0,518	0,537	0,544
0,48	0,468	0,481	0,499	0,513	0,531	0,551	0,572	0,579
0,49	0,503	0,516	0,535	0,566	0,571	0,590	0,608	0,615

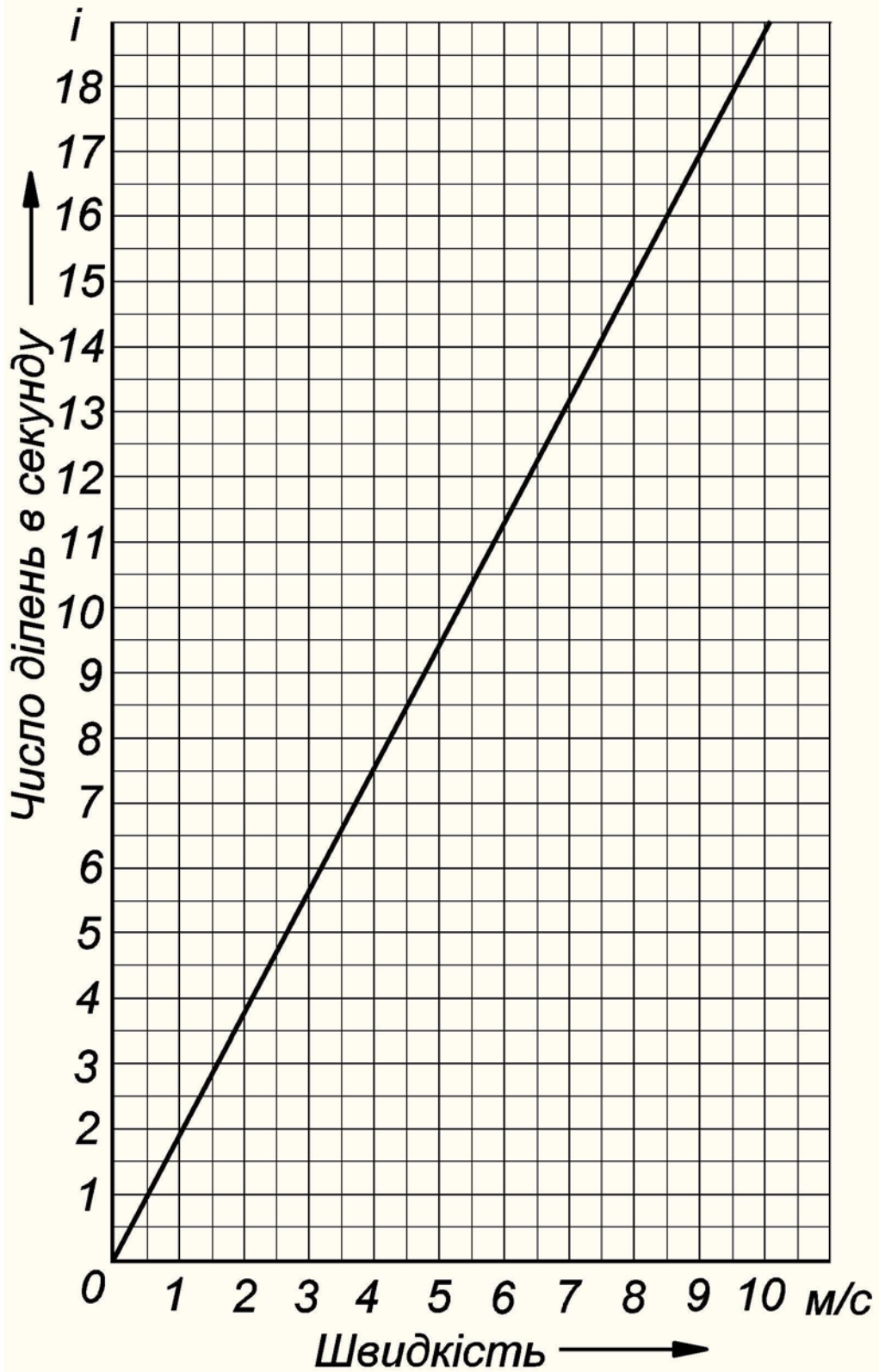
Продовження ДОДАТКА 2

<i>H</i> / Δ<i>t</i>	Температура повітря, °C							
	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0	26,0
0,50	0,539	0,557	0,571	0,589	0,604	0,622	0,640	0,651
0,51	0,574	0,593	0,607	0,628	0,648	0,666	0,684	0,691
0,52	0,615	0,633	0,644	0,665	0,683	0,701	0,720	0,727
0,53	0,656	0,674	0,688	0,705	0,724	0,742	0,760	0,768
0,54	0,696	0,715	0,729	0,746	0,764	0,783	0,801	0,808
0,55	0,737	0,755	0,770	0,798	0,807	0,827	0,844	0,851
0,56	0,788	0,801	0,815	0,833	0,851	0,867	0,884	0,894
0,57	0,834	0,852	0,867	0,882	0,898	0,915	0,933	0,940
0,58	0,879	0,898	0,912	0,929	0,944	0,959	0,972	0,997
0,59	0,930	0,943	0,957	0,971	0,985	1,001	1,018	1,023
0,60	0,981	0,994	1,008	1,022	1,033	1,044	1,056	1,060

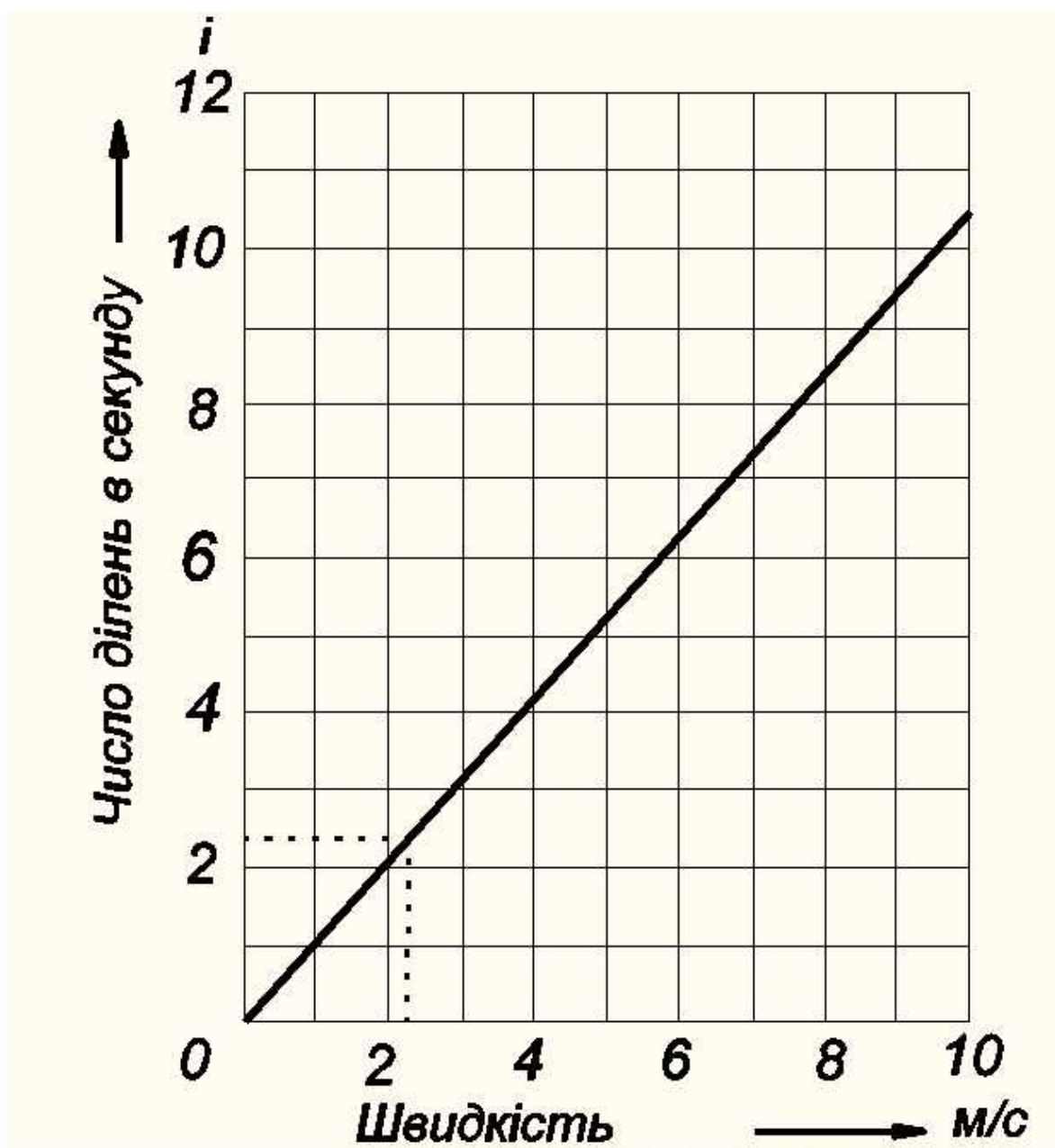
ДОДАТОК 3 – Визначення швидкості руху повітря по показаннях кататермометра за умови, якщо вона більше 1 м/с)[20]

$H/\Delta t$	Швидкість руху повітря, м/с	$H/\Delta t$	Швидкість руху повітря, м/с	$H/\Delta t$	Швидкість руху повітря, м/с	$H/\Delta t$	Швидкість руху повітря, м/с
0,60	1,00	0,77	1,85	0,94	2,97	1,28	5,95
0,61	1,04	0,78	1,91	0,95	3,04	1,30	6,24
0,62	1,09	0,79	1,97	0,96	3,12	1,35	6,73
0,63	1,13	0,80	2,06	0,97	3,19	1,40	7,30
0,64	1,18	0,81	2,09	0,98	3,26	1,45	7,88
0,65	1,22	0,82	2,16	0,99	3,35	1,50	8,49
0,66	1,27	0,83	2,22	1,00	3,43	1,55	9,13
0,67	1,32	0,84	2,28	1,03	3,66	1,60	9,78
0,68	1,37	0,85	2,34	1,05	3,84	1,65	10,50
0,69	1,42	0,86	2,41	1,08	4,08	1,70	11,20
0,70	1,47	0,87	2,48	1,10	4,26	1,75	11,90
0,71	1,52	0,88	2,54	1,13	4,52	1,80	12,60
0,72	1,58	0,89	2,61	1,15	4,71	1,85	13,40
0,73	1,63	0,90	2,68	1,18	4,99	1,90	14,20
0,74	1,68	0,91	2,75	1,20	5,30	1,95	15,00
0,75	1,74	0,92	2,82	1,23	5,48	2,00	15,80
0,76	1,80	0,93	2,90	1,25	5,69	-	-

ДОДАТОК 4 – Графік визначення швидкості руху повітря крильчастим анемометром АСО-3.



ДОДАТОК 5 – Графік визначення швидкості руху повітря чашковим анемометром МС- 13[21].



Зміст

1. Загальні положення та прилади для вимірювання швидкості руху повітря.....	3
1.1 Кататермометр.....	4
1.2 Обертальні анемометри.....	5
1.3 Вихрові анемометри.....	15
1.4 Теплові анемометри.....	16
1.5 Ультразвукові анемометри.....	17
1.6 Динамометричні анемометри.....	19
1.7 Оптичні (лазерні доплерівські) анемометри.....	21
2. Підготовка приладів до роботи та налаштування їх параметрів.....	22
3. Порядок виконання роботи.....	22
4. Звіт.....	28
5. Контрольні запитання і завдання.....	28
6. Список джерел інформації.....	29
Додаток 1.....	32
Додаток 2.....	36
Додаток 3.....	37
Додаток 4.....	38
Додаток 5.....	39

Навчальне видання

Методичні вказівки

до лабораторної роботи «Визначення швидкості руху повітря за допомогою анемометрів різних типів» з курсу «Системи контролю небезпечних та шкідливих виробничих факторів» для студентів першого(бакалаврського) рівня освіти, галузі знань 26 «Цивільна безпека», спеціальності 263 – «Цивільна безпека», освітньо-професійної програми «Охорона праці» очної та заочної форми навчання./ Є.В.Ящерицин – Харків: НТУ «ХП», 2024. – 42 с.

Укладач: Ящерицин Євген Володимирович

Роботу до друку рекомендувала проф. Райко В.Ф.

Відповідальний за випуск в авторській редакції проф. Вамболь С.О.

В авторській редакції

План 2024 р., поз. 29.

Підп. до друку 00.00.24. Формат 60x84 1/12. Папір офсетний.

Друк – цифровий. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,6.

Наклад 10 прим. Зам. № //24. Ціна договірна. .

Видавничий центр НТУ “ХПІ”, 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08. 2017 р.

Виготовлювач: