

Спосіб калібровки (повірки) анемометра і пристрій для його здійснення відноситься до виміральної техніки, а саме до способів і пристроїв для калібровки приладів виміру швидкості вітру.

Спосіб і пристрій можуть бути використані для метрологічної атестації (первинної калібровки) і подальших калібровок приладів виміру швидкості вітру.

Відомий спосіб [1], який призначений для калібровки пропелерних анемометрів. Калібровка анемометрів по цьому способу проводиться шляхом виміру моменту сили тертя спокою ротора датчика швидкості вітру анемометра і перевірки геометричних розмірів та експертизі чистоти поверхні лопатей його пропелерів. Якщо значення виміряного моменту сили тертя спокою не перевищує встановленої норми, розміри у заданих межах не змінилися, а поверхні лопатей пропелеру чисті, то такий анемометр вважається придатним для виміру швидкості вітру у метеорологічних цілях.

Момент сили тертя спокою підшипників датчика швидкості вітру анемометра визначається як добуток сили, після дії якої ротор датчика починає рухатися, на радіус r_{rot} ротора.

Такий спосіб калібровки пропелерних анемометрів вважається придатним по тій причині, що при невеликому значенні тертя спокою ротора, швидкість вітру можна обчислити по конструктивним розмірам пропелерного датчика швидкості вітру анемометра.

Так наприклад, якщо проігнорувати значеннями в'язкості повітря і тертя у підшипниках датчика швидкості вітру анемометра, то при середньому куті атаки пропелерів датчика $\alpha_s=45^\circ$ швидкість руху точок пропелера, які обертаються по середньому радіусу r_s площини обмаху пропелерів, буде приблизно дорівнювати швидкості потоку повітря.

Недоліком цього способу є велике значення похибки виміру пропелерним анемометром швидкості вітру для потреб вітроенергетики тому, що неможливо достатньо точно врахувати дію в'язкості повітря і сили тертя у підшипниках датчика швидкості вітру анемометра шляхом розрахунку. Враховуючи те, що енергія вітру пропорційна кубу його швидкості, то відносна похибка визначення енергії вітру в такому разі збільшується ще у три рази.

Великі значення похибок калібровки не дають можливості достатньо точно робити експертну оцінку перспективності будівництва вітроелектростанцій (ВЕС) на експериментальній метеоплощадці, проводити експериментальне дослідження розподілу градієнта швидкості вітру по напрямкам та достатньо точно визначати характеристику кривої потужності вітроенергетичної установки (ВЕУ).

При калібровці у такий спосіб існує небезпека пропуску бракованих анемометрів, у яких брак є причиною наявності резонансів. Такий брак можна виявити тільки при роботі датчика швидкості руху анемометра у повітряному потоці.

Крім того, у такий спосіб можна калібрувати тільки пропелерні анемометри. Інші анемометри, наприклад чашкові, калібрують у штучному (наприклад у аеродинамічній трубі [2]) або натуральному (наприклад, природньому вітру на метеопосту [3]) повітряному потоці, при чому швидкість повітряного потоку визначають по еталонному пропелерному анемометру. Але в такому разі до похибки калібровки еталонного пропелерного анемометра ще додається складова, яка обумовлена анізотропією повітря по швидкості руху, тобто неоднаковістю швидкості руху повітря по модулю і напрямку у всіх точках повітряного потоку. Крім того, у еталонному пропелерному анемометрі, для зменшення похибки калібровки, повинен бути значний радіус обмаху лопатей (так, наприклад, у [2] він дорівнює 30см), в наслідок чого такий еталонний датчик швидкості вітру додатково збурює повітряний потік в аеродинамічній трубі.

Найбільш близьким до способу, що пропонується, є спосіб поданий у [4].

В цьому способі калібровку анемометра в різних діапазонах швидкості вітру проводять двома методами. В діапазоні швидкостей від 2м/с і більше калібровку проводять методом прямого випробування, тобто у відповідності до реальних умов експлуатації анемометра у вітроенергетиці, коли анемометр на метеопосту встановлюється нерухомо, а повітря рухається (вітер).

Калібровку анемометра при цьому проводять шляхом виміру температури, тиску та вологості атмосферного повітря, синхронної реєстрації значень вихідного сигналу анемометра і відносного руху повітря і датчика швидкості вітру анемометра та розрахунку проміжних значень калібровки методом апроксимації виміряних значень, при чому вимір і реєстрацію значень вихідного сигналу анемометра і швидкості відносного руху повітря і датчика швидкості вітру проводять у змінному повітряному потоці при нерухомому статорі датчика швидкості вітру при чому вимір швидкості змінного повітряного потоку проводять опосередкованим методом шляхом виміру різниці повного і статичного тисків повітряного потоку і послідовним розрахунком питомої швидкості по рівнянню Бернуллі.

Приймач повного тиску і датчик швидкості вітру анемометра встановлюються в різних місцях повітряного потоку, які можуть значно відрізнятися своїми параметрами і це повинно враховуватися поправочним коефіцієнтом ξ_Σ приймача повного тиску у рівнянні Бернуллі (див. [5] - "трубки измерительные"). Поправочний коефіцієнт ξ_Σ визначають за допомогою еталонного датчика швидкості руху повітря, наприклад такого, який приведений у аналогу.

Виміряні значення швидкості вітру перераховують, за допомогою рівняння Клапейрона [5] до таких значень, які відповідають стандартним кліматичним умовам.

Парні значення проміжних точок відповідності вихідного сигналу анемометра швидкості потоку повітря визначають шляхом апроксимації виміряних пар значень по методу найменших квадратів.

Остаточно апроксимована характеристика калібровки анемометра відображається у загальному вигляді по формулі (1):

$$v = a_i \psi^i + a_{i-1} \psi^{i-1} + \dots + a_1 \psi + b \quad (1)$$

де v - швидкість вітру;

ψ - значення вихідного сигналу анемометра;

a_i та b - постійні коефіцієнти.

Для швидкостей повітряного потоку менше 2м/с, з метою визначення швидкості початку обертання лопатей

анемометра, випробування анемометра проводять зворотнім методом, тобто у нерухомому повітрі, при чому статор анемометра приводять у рух, повільно збільшуючи його швидкість. Початок обертання лопатей анемометра фіксують візуально після чого припиняють збільшення швидкості руху статора анемометра і проводять вимір швидкості руху анемометра.

Недоліком цього способу є значний рівень випадкової складової похибки виміру швидкості вітру при калібровці анемометра в діапазоні швидкостей від 2м/с і більше, яка обумовлена рівнем анізотропності рухомого повітря по швидкості руху. Завдяки цьому розрахунок похибки калібровки ускладнюється і його потрібно робити в рамках теорії багатовимірної розподілу ймовірності [7] так, наприклад, як це зроблено у [2].

Крім того, при такому способі визначення коефіцієнту b у формулі (1) для швидкостей повітря від 2м/с і більше з достатньою похибкою є проблематичним, оскільки похибка визначення коефіцієнту b по формулі апроксимації значно перевищує похибку визначення коефіцієнту a (див. [2]).

Додатковим недоліком є ще і те, що визначення швидкості повітряного потоку проводиться по відношенню до декількох еталонів, таких як еталони температури, тиску, та інш.

Проблематичним є також можливість виміру в лабораторних умовах додаткових похибок калібровки анемометрів в залежності від температури і вологості тому, що рухоме повітря з малим рівнем анізотропності по швидкості руху складно застабілізувати по температурі і вологості без значних затрат електроенергії. Значних витрат електроенергії вимагає цей спосіб і при перевірці анемометрів у повному складі на інтервалах усереднення 10 або 60хв.

Таким чином, такий спосіб не дає можливості надійно і достовірно визначати абсолютне значення швидкості вітру, з такою похибкою, яка необхідна для задач вітроенергетики, що не дозволяє робити з необхідною похибкою розрахунок абсолютного значення енергії вітрового потоку в районі можливого будівництва ВЕС, робити вимір характеристики кривої потужності ВЕУ з мінімальним рівнем систематичної похибки та вимагає застосування метеопор на повну висоту, яка повинна дорівнювати середній висоті розташування лопатей ВЕУ, для виміру вітропотенціалу площадки майбутньої ВЕС.

Задачею винаходу є створення такого способу, при якому калібровка анемометра проводиться значною мірою у ізотропному по швидкості руху потоку повітря, що значно зменшить похибку калібровки, дозволить спростити її розрахунок і робити його в рамках теорії одномірної розподілу ймовірностей, тобто по [8], збільшить надійність та забезпечить достовірність розрахунку похибки і як наслідок, дасть змогу спростити конструкції пристрою для калібровки анемометрів і метеопор для виміру вітропотенціалу площадок майбутніх ВЕС. Спрощення конструкції пристрою для калібровки анемометра дозволить робити калібровку анемометра у повному складі і забезпечить можливість визначення додаткових похибок анемометра шляхом його калібровки у стандартних камерах тепла, холоду та вологості у всьому температурному діапазоні експлуатації.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі калібровки анемометра, який включає синхронну реєстрацію значень вихідного сигналу анемометра і відносного руху повітря і статора датчика швидкості вітру анемометра у нерухомому повітрі, розрахунок проміжних значень калібровки методом апроксимації вимірюваних значень, вимір відносної швидкості руху повітря і статора датчика швидкості вітру анемометра за допомогою спідометра відносно нерухомої поверхні, статор датчика швидкості вітру анемометра приводять у рух по черзі по декількох колах з різними радіусами, а статор чашкового датчика на кожному колі приводять у рух у прямому і зворотньому напрямках відносно обертання своїх чашок перпендикулярно колу обертання статора, при чому проміжні вихідні дані статора чашкового датчика швидкості вітру анемометра отримуються як середнє арифметичне від даних, отриманих при русі статора чашкового датчика у протилежних напрямках, а остаточні коефіцієнти a_1 і b у формулі:

$$v = a_1 \psi + b \quad (2)$$

лінійної апроксимації відповідності відносної швидкості руху статора датчика швидкості вітру анемометра і повітря v вихідному сигналу анемометра ψ , розраховуються для випадка з двома колами обертання по формулах:

$$a_1 = (a_{11}^2) / a_{12} \quad (3)$$

$$b = 2b_1 - b_2 \quad (4)$$

де a_{11} і b_1 - коефіцієнти формули апроксимації, які визначені при русі статора датчика швидкості вітру анемометра на більшому радіусі, а a_{12} і b_2 - на меншому, радіус якого зменшений у 2 рази.

Порівняльний аналіз з відомими технічними рішеннями показав, що технічне рішення, яке пропонується, відрізняється наявністю нових елементів, якими є: проведення калібровки анемометра шляхом обертання статора датчика швидкості вітру по декількох замкнутих колах з різними радіусами, а для чашкового анемометра ще й проведення калібровки в прямому і зворотньому напрямках по кожному колу, що дає змогу витримати достатньо повну динамічну подібність (див. [6]) калібровки анемометра реальним умовам його експлуатації і робити калібровку анемометра у повному обсязі в ізотропному по швидкості вітру повітрі і цим значно зменшити похибку його калібровки, спростити її розрахунок, тобто робити його по [8], та збільшити надійність та забезпечити достовірність калібровки тому, що вимір абсолютних швидкостей руху статора датчика швидкості вітру анемометра можна контролювати меншою кількістю і більш простішими і точними еталонами, такими як еталони довжини і часу та контролювати процес калібровки декількома способами, за допомогою таких приладів як диференційний і інтегральний спідометри, що виключає можливість "промаху" при калібровці.

Крім того, проведення калібровки анемометра у повному обсязі шляхом обертання статора його датчика швидкості вітру по колу дозволяє значно зменшити енергозатрати на калібровку і проводити її за інтервали осереднення, які використовуються в умовах експлуатації анемометра та дає можливість проводити калібровку анемометра у стандартних камерах тепла, холоду і вологості для визначення додаткових похибок.

На основі наведеного вище можна зробити висновок, що сукупність суттєвих ознак, що викладені у формулі винаходу є необхідною і достатньою для досягнення нового технічного результату - витримання повної динамічної подібності умов калібровки анемометрів у ізотропному по швидкості потоку повітря умовам

експлуатації анемометрів і таким чином зменшити похибки калібровки, підвищити її надійність, достовірність, зменшити енергоємність та спростити розрахунок похибок.

Принцип роботи пристрою полягає у наступному

Для зменшення часу калібровки, встановлення значень швидкості руху статора робиться ступенями рівномірно розташованими в заданому діапазоні швидкості вітру. Виміряні парні значення швидкості вітру і вихідні значення анемометра або датчика швидкості вітру використовуються для визначення усіх парних значень шляхом апроксимації їх методом найменших квадратів [7].

На практиці рівномірний поступовий рух статора анемометра у нерухомому повітрі здійснити не завжди зручно по тій причині, що для цього необхідне дуже складне і не завжди доступне обладнання, наприклад, частина тунелю метрополітену чи рівна ділянка автомагістралі у безвітряну погоду і т.д.

Більш практично використовувати для калібровки рух статора датчика швидкості вітру анемометра по колу.

За таким способом можна проводити калібровку анемометра при інтервалах осереднення 10 або 60хв, що відповідає умовам експлуатації анемометра, а вплив центробіжної сили можна врахувати шляхом апроксимації вихідних значень сигналу анемометра при однакових швидкостях його руху, але при різних центробіжних силах. Змінювати значення центробіжної сили, зберігаючи швидкість руху датчика швидкості вітру постійною, можна, рухаючи статор датчика швидкості вітру анемометра по колам з різними діаметрами.

Центробіжна сила f_c буде в такому разі змінюватися по формулі:

$$f_c = m v^2 / r \quad (5)$$

де m - маса ротору датчика швидкості вітру анемометра;

r - радіус кола, по якому рухається статор датчика швидкості вітру анемометра.

Як видно з формули (5) сила f_c пропорційна квадрату швидкості руху статора датчика швидкості вітру анемометра, і ця сила складається з силою опору ротора датчика швидкості руху анемометра повітрю f_v по правилу складання векторів, тому потрібно обмежувати допустимий рівень швидкості руху статора по колу для кожного конкретного типу датчика швидкості вітру.

Так, наприклад, для датчика швидкості вітру NRG #40 анемометра NRG Lgger 9200 виробництва США допустима максимальна швидкість вітру $v_{\max}=96\text{м/с}$, при якій він витримує опір повітря силою $f_v=f_{\max}$. Сила f_{\max} може бути розрахована по формулі (6):

$$f_{\max} = 0,5 c \rho s v_{\max}^2 \quad (6)$$

де c - аеродинамічний коефіцієнт опору;

ρ - щільність повітря, яка при сухому повітрі і стандартних кліматичних умовах дорівнює $\rho=1,205\text{кг/м}^3$;

s - характерна площа рухомої частини датчика швидкості вітру анемометра.

Так, наприклад, якщо при $c=1$ прийняти $s=150\text{см}^2$ то $f_{\max}\sim 70\text{кгм/с}^2$. Для того, щоб при калібровці анемометру не вивести його з ладу, потрібно прийняти допустиму центробіжну силу $f_v=f_d < f_{\max}$, яка буде на нього діяти при максимальних обертах статора датчика швидкості вітру анемометра.

Величина f_d повинна бути не більше 36кгм/с^2 , при масі рухомої частини датчика швидкості вітру $m=0,1\text{кг}$ та радіусу обертання статора датчика швидкості вітру $r=3\text{м}$, допустима швидкість руху v_d статора датчика швидкості вітру анемометра, на якій його ще можна калібрувати, буде визначатись, при врахуванні формули (7), слідуючим рівнянням:

$$v_d = \sqrt{(f_d r / m)} \quad (7)$$

тобто: $v_d \approx 33\text{м/с}$.

Величина допустимої v_d швидкості руху датчика швидкості вітру анемометра у 33м/с достатня для калібровки, тому що для БЕУ швидкість вітру більше 25м/с вважається аварійною і БЕУ, при перевищенні такої швидкості вітру, виключається. Але по нормативному документу [9], верхня границя калібровки анемометра встановлюється $v_{\max}=50\text{м/с}$. Таке значення верхньої границі швидкості вітру без збільшення центробіжної сили можна досягти, збільшивши радіус r обертання статора датчика швидкості вітру анемометра у 1,5 раза, тобто до $4,5\text{м}$, але робити це не обов'язково тому, що перевіряти анемометр на швидкості більше 25м/с має сенс тільки для того, щоб упевнитися в надійності конструкції датчика швидкості вітру. Таку перевірку за вказаним методом датчик швидкості вітру анемометра проходить, завдяки наявності додаткової центробіжної сили f_c , на менших швидкостях, що додатково дає змогу зменшити енергоємність калібровки.

Так, наприклад, для датчика NRG #40 сила опору f_v вітровому потоку при швидкості повітряного потоку $v=33\text{м/с}$ буде дорівнювати $f_v=8\text{кгм/с}^2$, але, як показано раніше, при швидкості $v=33\text{м/с}$ центробіжна сила $f_c=36\text{кгм/с}^2$, а разом ці дві сили при швидкості $v=33\text{м/с}$ будуть дорівнювати сумарній силі f_{Σ} :

$$f_{\Sigma} = \sqrt{(f_v^2 + f_c^2)} = 37\text{кгм/с}^2 \quad (8)$$

що еквівалентно дії сили f_v при швидкості вітру $v=71\text{м/с}$. Процес калібровки анемометра проводиться у слідуючий послідовності.

1 Статор датчика швидкості вітру анемометра приводиться у рух по замкнутому колу з найбільш можливим радіусом r .

2 Протягом установленого на реєстраторі анемометра (лоджері) періоду осереднення, реєструються диференційні та інтегральні значення швидкості руху статора датчика швидкості вітру анемометра по вихідних сигналах спідометра відносно нерухомої поверхні та по значенню інтервалу часу t за який статор датчика робить n обертів.

3 Початкова швидкість обертання статора датчика швидкості вітру анемометра задається такою, при якій ротор датчика швидкості вітру починає рухатися. Потім ця швидкість зменшується до такого рівня, при якій ротор датчика швидкості вітру зупиняється, при чому остання швидкість руху ротора датчика швидкості вітру відповідає експериментально визначеному коефіцієнту b (b_{r1}) з формули (1) і в даному випадку характеризує сумарну дію сили тертя у підшипнику та центробіжної сили при русі статора датчика швидкості вітру по колу з радіусом r_1 .

4 Подальшу калібровку проводять, збільшуючи швидкість до допустимої швидкості статора датчика швидкості вітру анемометра v_d , яка обчислюється для конкретного типу датчика по формулах (6) та (7). Після проведення вказаних вимірювань у всьому діапазоні для чашкового анемометра проводяться такі ж самі вимірювання у зворотньому напрямку руху статора датчика. Потім окремо апроксимують виміряні дані у прямому і зворотньому напрямках руху статора.

5 Проводять дослідження лінійності характеристики перетворення анемометра. Для цього визначають нелінійне значення формули (1) (без члену з коефіцієнтом a_1 і без коефіцієнту b). Якщо значення нелінійної частини формули (1) не перевищує допустимої похибки калібровки анемометра то характеристика перетворення анемометра вважається лінійною і відображається формулою (2).

Надалі коефіцієнти a_1 і b формули (2) визначають як середнє арифметичне цих коефіцієнтів, отриманих при різних напрямках руху статора.

6 Датчик швидкості вітру приводиться у рух по колу з радіусом r_2 , який у два рази менший від попереднього радіуса r_1 руху датчика.

7 Проводяться такі ж самі випробування, як і при русі по колу з радіусом r_1 з урахуванням того, що допустима швидкість v_d руху статора датчика, яка визначається по формулі (7), не повинна перевищуватися.

8 За даних цих вимірювань проводиться розрахунок коефіцієнтів a_0 і b формули (2) для першого (a_{11} і b_1) і другого (a_{12} і b_2) колів руху датчика швидкості вітру у всьому діапазоні виміру кутової швидкості обертання. Коефіцієнти a_1 і b формули (2), які відповідають прямолінійному руху датчика швидкості вітру у нерухомому повітрі, знаходять за формулами (3) та (4).

9 Для виключення можливості "промаху" при калібровці використовується секундомір, яким контролюється інтегральна швидкість обертання статора датчика швидкості вітру анемометра по кількості його обертань n за виміряний секундоміром час t . Швидкість руху статора датчика швидкості вітру анемометра v у нерухомому повітрі розраховується по формулі:

$$v = 2\pi r n / t, \text{ м/с} \quad (9)$$

10 Похибку калібровки анемометра розраховують по [8].

Відомий пристрій [1] для реалізації способу [1], який складається з самого пропелерного анемометра і пристрою виміру тертя спокою анемометра, який являє собою закріплену одним кінцем і накручену на роторі анемометра нитку, а до іншого кінця нитки закріплено динамометр або чашку для гирок. Момент сили тертя спокою підшипників анемометра визначається як добуток сили, виміряної динамометром, або сумарною вагою гирок p_g , після дії якої анемометр починає рухатися на радіус r_{rot} ротора анемометра.

Недоліком цього пристрою є те, що з його допомогою неможливо забракувати несправні анемометри у яких брак є причиною наявності резонансів. Такий брак можна виявити тільки при роботі анемометра у повітряному потоці.

Найбільш близьким до пристрою, що пропонується, є пристрій, поданий у [4] для реалізації способу [4].

Цей пристрій складається з двох апаратів для приведення у відносний рух повітря і статора датчика швидкості вітру анемометра у вигляді аеродинамічної труби та ротативної машини (див. [6]).

Аеродинамічна труба складається з труби, яка обладнана пристроєм для кріплення статора датчика швидкості вітру анемометра до нерухомої поверхні та компресором (вентилятором) з регулятором відносної швидкості руху повітря і статора датчика швидкості вітру анемометра, пристроями демпфірування турбулентної складової потоку повітря (спрямляючи решітки та направляючі лопатки), термометром, вимірювачем вологості повітря та вимірювачем відносної швидкості потоку повітря, який побудований на основі вимірювачів статичного і повного тисків повітря з манометрами, при чому вимірювач повного тиску має вигляд трубки Піто, яка вихідним торцем приєднана до манометру.

Ротативна машина також має пристрій кріплення датчика швидкості вітру анемометра, який встановлений на кінці її виносного (горизонтального) кронштейна, пристрій демпфірування турбулентної складової потоку повітря, який встановлений на фундаменті вздовж траєкторії руху пристрою кріплення датчика швидкості вітру анемометра та регулятор відносної швидкості руху повітря і пристрою кріплення датчика швидкості вітру анемометра.

Працює цей пристрій таким чином. Датчик швидкості вітру анемометра, який калібрується, встановлюється спочатку у відповідний пристрій кріплення на кінці виносного кронштейна ротативної машини і проводиться, згідно опису відповідного способу, вимір швидкості руху статора датчика швидкості вітру анемометра, при якій ротор датчика швидкості вітру починає рухатися, відносно його статора.

Потім датчик швидкості вітру анемометра встановлюється у відповідний пристрій аеродинамічної труби таким чином, що його статор надійно зафіксований відносно нерухомої поверхні аеродинамічної труби (фундаменту).

Проводиться вимір температури і статичного тиску атмосферного повітря.

Регулятором швидкості обертів лопатей вентилятора аеродинамічної труби створюються, по заданій програмі, фіксовані значення швидкості руху повітря.

При кожному встановленому значенні швидкості вітру проводиться синхронний вимір вихідного сигналу анемометра і різниці між повним і статичним тисками повітря у аеродинамічній трубі. За виміряними даними проводиться розрахунок даних калібровки згідно з тим, як описано у прототипі відповідного способу.

Недоліком цього пристрою є те, що повітря в аеродинамічній трубі приводиться у рух механічними деталями компресору, наприклад, лопатями вентилятора. Така дія на повітряне середовище приводить до появи турбулентної складової, яку повністю не можливо ліквідувати пристроями демпфірування турбулентної складової повітря, а її значне зменшення пов'язано з великим опором обумовленим вязкістю повітря і, як наслідок значними витратами електроенергії.

Ця турбулентна складова повітряного потоку є причиною анізотропності повітряного потоку по швидкості. Така анізотропність приводить до флуктуацій вихідних сигналів вимірювача швидкості потоку повітря у аеродинамічній трубі і анемометра, що калібрується і збільшує похибку калібровки.

Другим обмежуючим фактором є значна інструментальна складова похибки калібровки. Величина цієї

похибки залежить від похибки калібровки штатного вимірювача швидкості вітру у аеродинамічній трубі, тобто визначення поправочного коефіцієнту ξ_{Σ} приймача повного тиску у рівнянні Бернуллі. Якщо з цієї метою використовується еталонний пропелерний анемометр, як у аналогу, то до випадкової складової похибки, обумовленої анізотропністю потоку повітря в аеродинамічній трубі, похибки виміру температури і тиску повітря додається вказана вище значна інструментальна складова похибка калібровки еталонного анемометра.

Ротативна машина по прототипу забезпечує ізотропність потоку повітря по його швидкості, але проведення калібровки анемометра з її допомогою у всьому діапазоні необхідних швидкостей повітря не можливо по тій причині, що в ній не забезпечена достатньо повна динамічна подібність процесу калібровки анемометра реальним умовам його експлуатації.

Задачею винаходу є створення такого пристрою, в якому будуть відсутні рухомі конструктивні елементи, які можуть бути причиною збурення потоку повітря в місці калібровки датчика швидкості вітру анемометра, що дозволить проводити калібровку анемометра в ізотропному по швидкості руху повітрі.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрої для калібровки анемометра, який містить пристрій приведення у відносний рух повітря і статора датчика швидкості вітру анемометра на основі транспортного засобу, який має спідометр, виносний кронштейн, на дальньому від транспортного засобу кінці якого установлений пристрій кріплення датчика швидкості вітру анемометра, а транспортний засіб має регулятор відносної швидкості руху повітря і пристроєм кріплення датчика швидкості вітру анемометра, при цьому на виносному кронштейні між транспортним засобом і першим пристроєм кріплення датчика встановлено додатково ще декілька пристроїв кріплення датчиків швидкості вітру анемометра на такій відстані від першого, при якій різниця рівней впливу транспортним засобом на датчики швидкості вітру у різних місцях їх установки більше ніж похибка виміру швидкості повітряного потоку анемометром, що калібрується.

Другою відмінністю пристрою є те, що на транспортному засобі, наприклад автомобілі, пристрій для кріплення статора датчика швидкості вітру встановлено у трубі з демпфером турбулентної складової потоку повітря та вимірювачем відносної швидкості руху повітря і статора датчика швидкості вітру анемометра.

Третьою відмінністю пристрою є те, що на транспортному засобі у вигляді ротативної машини, на її роторній частині встановлено пристрій кріплення реєстратора (лоджера) анемометра, що калібрується.

Четвертою відмінністю пристрою є те, що на транспортному засобі у вигляді ротативної машини введено пристрій передачі даних у вигляді, наприклад, контактних кілець і щіток, вимірювальний прилад, наприклад, вимірювач частоти, причому перший вхід пристрою передачі даних підключено до виходу датчика швидкості вітру анемометра, а другий вхід - до виходу синхронізуючого сигналу реєстратора (лоджера) анемометра, а виходи пристрою передачі даних підключені до відповідних входів вимірювального приладу, перетворювач, вхід якого підключено до виходу датчика швидкості руху (спідометра), пристрій реєстрації, перший вхід якого підключено до виходу вимірювального пристрою, а другий - до виходу перетворювача, задатчик режиму роботи ротативної машини та пристрій управління, який має у своєму складі стабілізатор напруги електромережі, причому вихід пристрою управління підключено до електродвигуна ротативної машини, перший вхід до виходу перетворювача, а другий вхід - до виходу задатчика режиму роботи ротативної машини.

П'ятою відмінністю пристрою є те, що у пристрої на основі ротативної машини вздовж траєкторії руху додаткових пристроїв для кріплення датчика швидкості вітру анемометра встановлені демпфери турбулентної складової повітря у вигляді відкритих камер, які своєю відкритою стороною встановлені до траєкторії руху датчиків.

Порівняльний аналіз з відомими технічними рішеннями показав, що технічне рішення, яке пропонується, відрізняється наявністю нових елементів, якими є: другий пристрій кріплення датчика швидкості вітру анемометра з демпферами турбулентної складової повітря, пристрій кріплення реєстратора анемометра, встановлення датчика швидкості вітру на транспортному засобі у вигляді автомобіля у трубі, пристрій передачі даних, вимірювальний пристрій, що дає змогу зменшити інструментальну похибку пристрою і забезпечити ізотропність повітря по швидкості руху, спростити конструкцію пристрою та зменшити енерговитрати на калібровку.

На основі наведеного вище можна зробити висновок, що сукупність суттєвих ознак, що викладені у формулі винаходу є необхідною і достатньою для досягнення нового технічного результату - витримання повної динамічної подібності умов калібровки анемометрів у ізотропному по швидкості потоку повітря умовам експлуатації анемометрів, зменшення інструментальної похибки калібровки, спрощення конструкції пристрою та зменшення енергозатрат на калібровку.

Сутність винаходу пояснюється кресленнями на Фіг.1-Фіг.4, де:

на Фіг.1 зображено основний варіант пристрою на основі транспортного засобу у вигляді ротативної машини;

на Фіг.2 наведено допоміжний варіант пристрою, який може застосовуватися для перевірки динамічної подібності калібровки по варіанту на Фіг.1;

на Фіг.3 зображено варіант пристрою для калібровки анемометрів в польових умовах і як варіант пристрою наведено на Фіг.2 для калібровки анемометрів при наявності вітру;

на Фіг.4 - електрична схема пристрою;

на Фіг.5 приведен графік залежності складності метеопор від їх висоти.

Запропонований пристрій складається з транспортного засобу, наприклад на основі ротативної машини 1 (Фіг.1), датчика швидкості руху (спідометра) на основі, наприклад, відтворюючої магнітної голівки з магнітофона 2, яка своїм магнітним зазором встановлена біля зубців шестерні 3 редуктора 4 ротативної машини 1, демпферного пристрою 5 з камерами 6, які відкритою стороною встановлені до траєкторії руху анемометрів 7, виносного кронштейну 8 з пристроями 9 для установки датчика швидкості вітру, а на врівноважувальній стороні ротативної машини - пристроєм кріплення реєстратора анемометра (лоджера) 10, пристрою передачі даних у вигляді, наприклад, контактних кілець і щіток 11, електродвигуна 12, транспортного засобу у вигляді, наприклад, автомобіля 13 (Фіг.2), труби 14 (Фіг.3), яка кріпиться на автомобілі 13, датчика швидкості руху повітря на основі, наприклад, трубки Піто 15, вимірювального пристрою 16 (Фіг.4), пристрою реєстрації 17, наприклад на основі відповідних порту і програми реєстрації персональної електронної обчислювальної машини або контролера (ПЕОМ), перетворювача 18, задатчика режиму роботи центрифуги 19 (ПЕОМ) і пристрою управління 20 (ПЕОМ).

Калібровка анемометрів проводиться із застосуванням транспортних засобів у вигляді ротативної машини 1 (Фіг.1) або автомобіля 13 (Фіг.2 та 3). На пристрої по Фіг.1 проводиться в основному перша калібровка (атестація) анемометра, тому що за його допомогою можна провести більшу частину калібровки відповідно вимог нормативного документу [9], а на модифікації пристрою по Фіг.1, наприклад, на основі програвача грампластинок, можна провести решту досліджень у стандартних камерах тепла, холоду та вологості.

При комбінованому засобі калібровки, тобто при визначенні коефіцієнту a_0 по формулі (2) із застосуванням аеродинамічної труби, а розрахунковому коефіцієнту b (коефіцієнту b , який визначається по апроксимаційній формулі) - на пристрої по Фіг.2, конструкцію пристрою можна значно спростити, виконавши його меншими габаритами і без застосування пристрою 5, завдяки тому, що експериментальне визначення розрахункового коефіцієнта b достатньо робити на малих швидкостях потоку повітря.

По пристрою на основі автомобіля 13 на Фіг.2 можна найбільш достовірно експериментально визначати коефіцієнт b у формулі (2) і тим самим перевірити динамічну подібність калібровки на пристрої на Фіг.1 умовам експлуатації анемометра оскільки, в цьому пристрої не діє центробіжна сила та не змінюється вектор швидкості статора датчика швидкості вітру анемометра по напрямку, як у пристрої на основі ротативної машини 1 (Фіг.1).

Центробіжна сила зменшує швидкість обертання анемометра за рахунок збільшення впливу тертя у підшипниках ротора анемометру, а зміна напрямку вектора швидкості статора датчика швидкості вітру анемометра створює неоднакові умови калібровки, наприклад для чашкового анемометра при різних напрямках руху ротативної машини.

Таку позитивну якість пристрою на Фіг.2 можна використати для додаткового контролю пристрою на основі центрифуги 1 та також при калібровці анемометрів у польових умовах, використовуючи для цього рівні ділянки місцевих доріг.

Калібровку проводять до таких швидкостей руху автомобіля 13, при заданій довжині виносного кронштейна 8, при яких збурення повітря автомобілем 13 не відчувається в місці установки датчика швидкості вітру 7 (Фіг.2). Таким пристроєм калібровку можна проводити тільки при відсутності вітру, що обмежує можливість його використання.

Більш зручніше калібровку анемометрів проводити у польових умовах на пристрої по Фіг.3, де датчиком швидкості повітряного потоку служить трубка Піто 15. Повітряний потік у цьому пристрої формується трубою 14, яка встановлюється на деякій відстані від даху автомобіля 13 для того, щоб збурення повітря проходило між автомобілем 13 і трубою 14. При такій конструкції пристрою калібровку можна проводити при наявності вітру.

Але більш перспективним є пристрій для калібровки на основі ротативної машини 1 (Фіг.1) тому, що на ньому можна проводити калібровку анемометра при інтервалах осереднення 10 або 60хв, що відповідає умовам експлуатації анемометра, а вплив центробіжної сили можна скомпенсувати шляхом апроксимації вихідних значень сигналу анемометра при однакових швидкостях його руху, але при різних центробіжних силах. Змінювати значення центробіжної сили, зберігаючи швидкість руху датчика швидкості вітру постійною, можна, встановлюючи анемометр у різні пристрої установки датчика швидкості вітру 9 на кронштейні 8 центрифуги 1, а кутову швидкість обертання центрифуги змінювати таким чином, щоб швидкість руху анемометра по колу була незмінною.

Процес калібровки анемометра на пристрої по Фіг.1 проводиться у наступній послідовності.

1 Датчик швидкості вітру анемометра встановлюють на кінці довгої сторони кронштейну 8 (Фіг.1), а лоджер анемометра 10 на протилежній від осі обертання стороні кронштейну 8. Дві сторони кронштейна 8 урівноважують додатково вагою на короткій стороні для того, щоб не відбувалося биття ротативної машини 1 при її обертанні. 3 цією ж самою метою у пристрій кріплення датчика швидкості вітру 7, який встановлений на середині кронштейна 8, закріплюється ваговий еквівалент датчика швидкості вітру 7 або другий датчик швидкості вітру.

2 Датчики швидкості вітру 7 підключають до відповідних входів лоджера 10 і до відповідних входів пристрою передачі даних 17. До другого входу пристрою передачі даних 17 підключають вихід синхросигналу лоджера 11.

3 На задатчику режиму роботи 19 встановлюють мінімальну, максимальну швидкості та інтервали кутових швидкостей руху датчика швидкості вітру 7 анемометра, а на пристрої реєстрації 17 і на лоджері 10 анемометра установлюють необхідні режими роботи та синхронізують їх годинники.

4 Після подачі напруги на електродвигун 12 через пристрій управління 20 ротативної машини 1 приводиться у рух і інтервали осереднення лоджера 10, в якому ротативна машина виходить на стабільний режим роботи, програмою пристрою реєстрації 17 відмічається як некалібровочні. Слідуючі інтервали осереднення після виходу на стабільний режим обертання ротативної машини 1 зараховуються як калібровочні.

5 Реєструючий пристрій 17 реєструє диференціальні та інтегральні, на протязі встановленого на лоджері періоду осереднення, значення швидкості руху v анемометра 7 по частоті f_s вихідних сигналів спідометра 2, які видаються на реєструючий пристрій 17 через перетворювач 18, по формулі:

$$v = 2\pi R f_s / (k n), \text{ м/с} \quad (10)$$

де k - кількість зубців на шестерні 3 редуктора 4;

n - передаточне число між шестернями, які встановлені між спідометром 2 і віссю обертання ротативної машини 1.

6 Одночасно реєструючий пристрій 17 також реєструє значення вихідного сигналу датчика швидкості вітру 7. Якщо датчик швидкості вітру 7 побудований на принципі магнітної індукції, то пристроєм реєстрації реєструється частота обертання F цього датчика, яка вимірюється пристроєм вимірювання 16 і який являє собою в цьому разі вимірювачем частоти.

7 Подальше проведення калібровки проводять як приведено у пп.4-10 опису роботи за запропонованим способом.

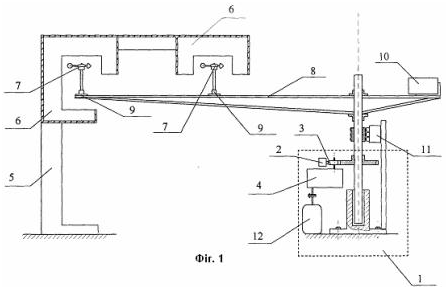
Таким чином, в даному винаході, на відміну від прототипу, можна провести калібровку анемометра з меншою похибкою, що дасть можливість більш точно визначити економічну доцільність будівництва ВЕС на метеоплощадці виміру енергопотенціалу вітру, надасть можливість експериментально визначати розподіл градієнта швидкості вітру по напрямках та достатньо точно визначати характеристику кривої потужності ВЕУ. Крім того у способі, що пропонується, повітря нерухоме, що дозволяє робити калібровку в стандартних камерах тепла,

вологості і холоду і таким чином дає змогу компенсувати додаткові похибки виміру швидкості вітру. Додатково винахід дозволяє зменшити енергоємність калібровки і завдяки цьому провести її в умовах найбільш наближених до умов експлуатації анемометра.

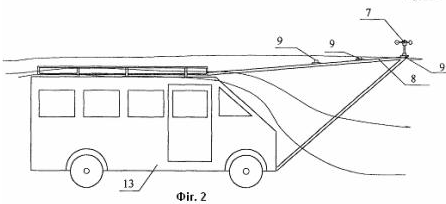
Запропоноване рішення надає можливість, завдяки зменшенню похибки калібровки, спростити також конструкцію метеопор, які використовуються на метеоплощадках для виміру швидкості вітру, що також дає значний економічний ефект, тому що дозволяє застосовувати метеопори меншою висотою і по більш точному розподілу швидкості вітру на такій опорі визначати, шляхом інтерполяції вимірних значень, швидкість вітру на більших висотах. На графіку Фіг.5 показана залежність складності метеопори від її висоти. За коефіцієнт складності взята ціна опори у євро за станом на 2001р. [10]. Як видно з графіка Фіг.5 при збільшенні висоти опори на чверть її складність збільшується у два рази. Таким чином впровадження винаходу дасть змогу використовувати опори меншої висоти, чим можна швидко окупити затрати і в майбутньому отримати значну економію коштів.

Джерела інформації:

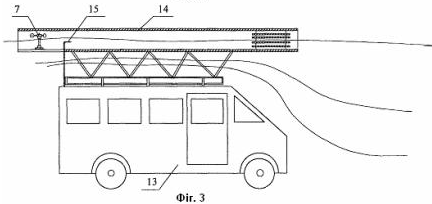
1. Анеморумбометр М63М-1М. Инструкция по калибровке.
2. Протоколи калібровки анемометрів Maximum Type 40 фірми NRG Systems, США.
3. Керівництво програміста по роботі з програмою розрахунку енергії вітру "Mikro Site", США.
4. Анеморумбометр МАРК-60. Инструкция по калибровке.
5. Физический энциклопедический словарь. М.: "Советская энциклопедия". 1984.
6. С.М. Горлин и И.И. Слезингер. Аэромеханические измерения. Методы и приборы. М.: Машиностроение. 1969.
7. Г. Корн и Т. Корн. Справочник по математике. М.: «Наука». М. 78.
8. ГОСТ 8.009-84. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений.
9. ГКД 341.003.003.006-2000. Площадки для вітрових електростанцій. Метеорологічні дослідження характеристик вітру.
10. Прайс лист фірми Wilmers Mesttechnik, Німеччина, від 19.01.2001р.



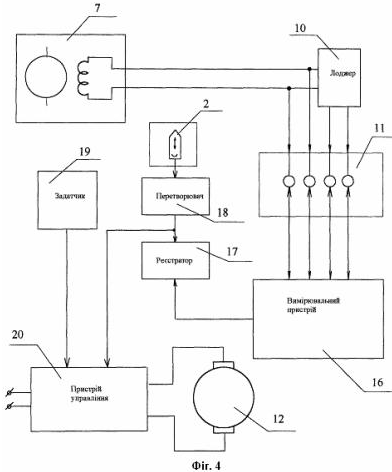
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

