

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний

(повна назва факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М.Д.Гераїмчук

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 20_ р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.051003 Приладобудування

на тему: «Чашковий анемометр» _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 _____ курсу, групи ПІ-51 _____

(шифр групи)

Гунов Ілля Андрійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доцент, к.т.н., Литвиненко П.Л. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант технологічний професор, д.т.н., Антонюк В.С. _____

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент, к.т.н., Шевченко В.В. _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ*

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП ПІ5105. 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	60	
3	A1	ДП ПІ5105. 01.000 СК	Чашковий анемометр Складальні креслення	1	
4	A1	ДП ПІ5105. 02.000 СК	3D модель Чашковий анемометр	1	
5	A1	ДП ПІ5105. 03.000 СК	Деталі	4	

				ДП ХХХХ 00.000.00		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Гунов І.А			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Литвиненко П.Л.				1	1
Консульт.					КПІ імені Ігоря Сікорського Каф. _____ Гр. _____	
Н/контр.						
Зав.каф.						

* Відомість виконується згідно зі Стандартом відповідної галузі економіки

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Приладобудівний
(повна назва)

Кафедра Приладобудування
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 6.051003 Приладобудування
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту**

Гунов Ілля Андрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Чашковий анемометр

керівник проекту доц., к.т.н. Литвиненко П.Л.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «27» травня_ 2019 р. №1384-с

2. Термін подання студентом проекту 13.06.2019

3. Вихідні дані до проекту _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Огляд та аналіз аналогів об'єкта проектування.
2. Розрахункова частина. 3. Технологічна частина. Висновок.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1.3D модель чашкового анемометра.-1арк.А1
2.Складальний кресленик.-1арк.А1 3.Робочі кресленики деталей-4арк.А4

6. Консультанти розділів проекту (роботи)*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Антонюк В.С.,д.т.н.,професор		

7. Дата видачі завдання 15 травня 2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Огляд чашкового анемометра	15 травня 2019 р.	
2.	Проведення розрахунків анемометра	2 червня 2019 р.	
3.	Розробка графічних креслеників	5 червня 2019 р.	
4.	Оформлення пояснювальної записки	7 червня 2019 р.	
5.	Представлення ДПБ на кафедрі	12 червня 2019р.	
6.	Передача електронної версії ДПБ	14 червня 2019р.	
7.	Представлення ДПБ до експертної комісії	18 червня 2019р.	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту (роботи)

АННОТАЦІЯ

У даній роботі проведено розробку чашкових анемометрів розглядаються області застосування та актуальність їх використання, а також пристрій і принципи їх експлуатації. Виявлено та обґрунтовано основні недоліки сучасних анемометрів та переваги чашкових анемометрів у порівнянні з ними. Була змодельована робота пристрою і зроблені висновки щодо отриманих результатів. В роботі проведено розрахунки.

Розроблено схему складального складу та технологічну схему складання.

Представлено графічний матеріал: 3д модель чашкового анемометра; складальний кресленик; робочі креслення деталей.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANNOTATION

In this paper, the development of cup anemometers is the area of application and relevance of their use, as well as the device and the principles of their operation. The main disadvantages of modern anemometers and the advantages of cup anemometers in comparison with them were revealed and grounded. The work of the device was simulated and findings on the results obtained were made. The calculations are carried out.

The scheme of assembly assembly and technological scheme of assembly have been developed.

The graphic material is presented: 3d model of cup anemometer; assembly drawings; work drawings of parts.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

АННОТАЦІЯ	6
ANNOTATION	7
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	10
1.1 Анемометр чашковий	10
1.2 Крильчасті анемометри	15
1.3 Теплові анемометри	19
1.4 Ультразвуковий анемометр	22
1.5 Обертальний момент	25
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	31
2.1 Розрахунок сил що діють на чаші анемометра	31
2.2 Анемометр чашковий в динаміці	32
2.3 Структурна схема перетворювача	35
2.4 Розрахунок швидкості вітру в приміщенні	36
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	49
3.1 Вступ	49
3.2. Визначення основних показників технологічності	49
3.3. Визначення додаткових показників технологічності	50
3.3.1. Техніко-економічні показники трудомісткості	50
3.4. Технічні показники уніфікації конструкції	51
3.5. Показник складності конструкції виробу	52
3.6. Технічний показник уніфікації вживаних процесів	53
3.7 Побудова схеми складального складу	54
3.8 Побудова технологічної схеми складання.	55
ВИСНОВОК	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58
ДОДАТКИ	60

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

На сьогоднішній день чашкові анемометри є найбільш поширений засіб вимірювання швидкості вітру. Завдяки простій конструкції вони широко використовуються в різних галузях промисловості: від будівництва та метеорології до вітрової енергетики.

Широке поширення чашкових анемометрів розпочалось в перше десятиліття XX століття. Тоді ж з'явилися і перші наукові роботи, що містили результати вивчення їх властивостей і характеристик. Ранній дослід був зосереджений на визначенні найкращої кікості чаш в анемометрі, на визначення геометричних параметрів (відстані чаш до центрів обертання, форму чаш і т. д.), Аеродинамічних та інших характеристик. Завершення початкової стадії вивчення (інженерного, пов'язаного з отриманням суттєвих досвідчених відомостей про анемометр) змінилося на початку XX століття етапом досліджень, було пов'язане з моделюванням поведінки анемометрів в різноманітних турбулентних потоках. Останнім часом було прийнято зусилля по створенню єдиної класифікації різновидів анемометрів, доступних на ринку (у сенсі конструкцій і модифікацій), в зіставлення їх ефективності в залежності від форми і розміру їх чаш (факторний аналіз).

Залежність між ефективною роботою чаші анемометра і її формою були розраховані Брівортом і Джойнер в 1934 році. Були одержані результати розрахунків аеродинамічного коефіцієнта C_p сили, що діють на чаші. Використовуючи одержані значення, ряд авторів (приміром, такі як Рамачардан в 1969 році і Кондо в 1971 році) запропонував різні аналітичні моделі для описування поведінки чаш анемометрів. Основним результатом їх дослідження стало кількісне описування залежності між передавальними функціями анемометрів, форми чаш і радіусами обертання їх центрів.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Анемометр чашковий

Анемометр чашковий - найперший, популярний і зручний вид механічних анемометрів. Відрізняти ручний або індукційний (електронний) типи пристроїв.

Прилад має широке застосування в [10]:

- метеорології - використовується фахівцями в повсякденній практиці;
- будівництві - встановлюють на підйомні крани для контролю сильних поривів вітру;
- промисловості - контролюють ефективність, продуктивність установок різного призначення, систем кондиціонування, вентиляції, опалення, тунелів і шахт;
- різних видах спорту - найчастіше застосовується у вітрильному спорті, а також у спортивній стрільбі: з лука і арбалета, вогнепальної та пневматичної зброї;
- сільському господарстві - під час обробки рослин хімічними препаратами;
- авіації - встановлюється в аеропортах для вимірювання повітряних потоків і перевірки стану авіаційних двигунів.

Крім цього, з їх підтримкою виробляють контроль відповідних вимог на робочих місцях, комфортних умов в штаб, на підприємствах і особливо заводах, де найменше відхилення від норми загрожує величезними наслідками.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи чашкового анемометра [10]:

- Вітер впливає на вісь з 3 або 4 чашками (напівсферами), відбувається обертання і запускається механізм підрахунку числа обертів.
- Результат відображається на лічильнику, шкалою циферблата або дисплеї (в залежності від виду і модифікації пристрою).
- Отримане число ділять на коефіцієнт приладу (2 або 3).



Рис. 1.1 Чашковий анемометр

При використанні ручного чашкового анемометра слід дотримуватися інструкції: засікає тривалість часу вимірювання, а також підраховують кількість обертів осі, після чого - на графіку відзначають відстань, пройдену потоками повітря. Кінцевий результат - це вказану відстань, поділене на час його вимірювання [10].

Що стосується індукційного (електронного) - інші підрахунки і графіки не потрібні, так як обладнання оснащене електронним тахометром і на лічильнику, або екрані, автоматично відображається знайдена швидкість вітру .

Прилад вимірює миттєву швидкість, а також середнє значення потоку повітря, по перпендикулярній спрямованості останнього щодо осі обертання. Головна

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевага чашкового пристрої - датчик фіксує швидкість без потреби підлаштовуватися під повітряний потік, так як працює будь-якому напрямку. Більшість індукційних моделей вимірюють ще й температуру повітря [10].

Функціональні обмеження [10]:

- ручний інструмент не розрахований на пориви вітру нижче 1 м / с;
- вимірює швидкість в діапазоні від 1 до 20 м / с - в ручному чашковими анемометр і до 50 м / с - в електронних моделях;
- робочі температури - від -20 ° С до 50 ° С;
- в більшості випадків не визначає напрямок повітряного потоку, а виключно його швидкість. Для можливості визначення цього фактора в комплект поставки повинен входити флюгерний директор.

Будова ручного чашкового анемометра розглянемо на прикладі моделі МС-13. Складається з наступних частин [10]:

- Вітроприймача: лопаті у вигляді чашок, кількість яких 4. Вони розташовані в одному напрямку, симетрично насаджені на хрестоподібні дротові спиці, які служать кріпленням для осі, а також захистом від пошкоджень всього елемента приладу.
- Ось, яка є ротором.
- Циферблат, що містить три шкали: одиниць, сотень і тисяч.
- Гвинт - знаходиться внизу пристрою для зручності кріплення на опору або жердину.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.2 Чашковий анемометр МС-13

Анемометр електронний чашковий АП-1М-2

Електронні анемометри типу «АП-1М-2» призначені для замірювання направленного повітряного потоку зі середньою швидкістю і середньої швидкості вітру в діапазоні від 1,0 до 20 м / с.

Області використання: метеорологія, будівництво, харчова промисловість, а ще промсанітарії. Все це відповідає виконанню УХЛ категорії 4 по ГОСТ 15150. Чашковий анемометр змінює швидкість повітряного потоку, крутного вітроприймача в кількість імпульсів за допомогою вимірювального перетворювача.

Умови застосування [11]:

- для первинних вимірювальних перетворювачів: від мінус 30 до плюс 50 ° С в діапазоні 1.0 -20.0 м / с.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для пульта вимірювального цифрового: від мінус 10 до плюс 50 ° С.
- відносна вологість повітря 45-80% при температурі (25 ± 10) оС.
- час безперервної роботи при негативних температурах до мінус 30 ° С не більше 1 ч.
- харчування здійснюється від акумуляторної батареї напругою 4,8 В.
- споживана потужність 0,1 ВА.

Таблиця 1.1 Технічна характеристика

Характеристики	Значення
Діапазон вимірювання швидкості повітряного потоку *	1..20 м/с
Основна похибка для діапазону швидкостей V=1.5...20 м/с	+-(0,1+0,05V)+-(0,3+0,05V)
Час вимірювання *	10 с
Час індикації показань	3 с
Габаритні розміри:	
- вимірювальним перетворювачем АП1- 2	156x72x62 мм
- цифрового вимірювального приладу	183x83x35 мм
- зарядного пристрою	75x65x98 мм
Потужність споживання	1,5 Вт
Середній термін роботи анемометра	8 лет
Енергоживлення	от АКБ Д-0,26 С - 8 шт. 9,6 В
Маса	5.2 кг



Рис. 1.3 Анемометр електронний чашковий АП-1М-2

1.2 Крильчасті анемометри

Крильчасті анемометри застосовують для вимірювань швидкостей потоків в трубах, вентиляційних шахтах та каналів, в системах кондиціонування, або інакше у випадках, коли маємо справу з незмінним напрямком руху потоку. Ці анемометри сильніше чутливі і здатні вимірювати швидкості від 0,1 м / с. Приймаючий пристрій виконаний у вигляді крильчатки, яка являється джерелом в рух потоком газу. Крильчатка прироблена до трубчастої осі, яка у свою чергу прироблена до механізму підрахунку оборотів за незмінний проміжок часу. У звичайних моделях крильчатка жорстко прироблена до вимірювального блоку, в

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

більш коштовних - за допомогою гнучкого об'єднання для вимірювань у важкодоступних місцях.

Анемометр крильчастий АСО-3 - прилад, призначений для вимірювання середньої швидкості направленої повітряного потоку в промислових умовах [12].

Таблиця 1.2 Технічні характеристики

Діапазон вимірювання середньої швидкості направленої повітряного потоку	0,3 - 5 м/с
Чутливість	не более 0,2 м/с
Межа похибки	$\pm(0,1+0,05V)$ м/с
Умови застосування анемометра: - Температура повітря - відносна вологість повітря	-10...+50°C 90% при $t=20^\circ\text{C}$
Габаритні розміри зі знятою ручкою	110×110×105 мм
Маса	0,45 кг

Конструкційні особливості АСО-3

Анемометр крильчастий АСО-3 в якості вітра приймача використовує крильчатку, насаджені на трубчасту вісь з підшипниковими втулками. Втулки обертаються на сталевій осі, один кінець якої упаяний в обойму і закріплений в нерухомій опорі, а другий затягнутий гайкою у втулці, що знаходиться в отворі розпірного стержня [12].

Анемометри крильчасті АСО-3 здійснюють натяг осі за допомогою пружини. Осьової люфт регулюється пружиною. На кінці трубчастої осі закріплений черв'як, що передає обертання вітра приймача зубчастому редуктору

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лічильного механізму. Три стрілки на циферблаті пристрою АСО-3 показують число обертів півкуль навколо осі: велика - число одиниць та десятків, а дві маленькі - число сотень і тисяч [12].

Механізм приладу АСО-3 закріплений в металевому корпусі, забезпеченому ручкою. Вона виконана у вигляді трубки і може бути використана для установки приладу на дерев'яному жердині [12].

У корпусі АСО-3 по обидві сторони виступає кінця аретира вкручені два вушка. Через них пропускається шнурок, за допомогою якого проводиться включення і виключення анемометра, піднятого на жердині. Шнурок прив'язується до кінця аретира [12].

Вітра приймача, який має анемометр крильчатий АСО-3, захищений від механічних пошкоджень циліндром (дифузором), службовцям одночасно для обмеження перетину вимірюваного повітряного потоку [12].



Рис. 1.4 Анемометр крильчатий АСО-3

Крильчасті анемометр Skywatch Xplorer 1

Вимірювач швидкості вітру Skywatch Xplorer1 малих габаритів с підсвічуванням. Цей малий прилад легко поміщається в кишені, підходящий при слабкій освітленості. Легке використання однією кнопкою.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Технічні дані [13]:

- водостійкий (кратковрем. занурення на глибину до 1м)
- підсвічування 5 і 15 сек
- іzmеpeннe вeтpa:
- точність 3%
- вибір одиниць виміру: м/сек, км/час, узлы, миль/час, фути/сек
- дозвіл: 0.1 одиниці
- цикл измepений: 2 за секунду.
- діапазон вимірювань: 1-42м / сек
- індикація максимального значення
- імпеллер вивeсeнo нa 25 мм від корпусу для кращого аеродинамічного обтікання крильчатки і високої точності
- автовимкнення через 1 хв або режим постійної роботи
- діапазон робочих температур -30 ° C до 60 ° C
- розміри: 41 x 93 x 17 mm
- маса: около 51 гр
- гарантія 1 год



Рис. 1.5. Крильчасті анемометр Skywatch Xplorer 1

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Теплові анемометри

Принцип роботи подібних анемометрів, часто званих термоанемометрами, зроблений на збільшенні тепловтрат обігрітого тіла при збільшенні швидкості обдуває більше холодного газу - зміну числа Нуссельта.

Цей факт усі знають, що при стабільній температурі в вітряну погоду відчуття холоду більше при великій швидкості вітру.

Конструктивно являє собою розкриту тонкий металевий дріт (нитка розжарення), що нагрівається більше температури середовища електричним струмом. Дріт роблять з металу з позитивним температурним коефіцієнтом опору - з вольфраму і ніхрому і платини і срібла і т.п.)

Опір нитки змінюється від переміни температури, отже, у такий спосіб по опору можна виміряти температуру. Температура незмінним чином залежить від швидкості руху вітру, щільності повітря, його вологості.

Дріт термодатчика приєднується в електронну схему. Залежно від методу підключення датчика відрізняються прилади з стабілізацією струму дроту та стабілізацією напруги і з термостатуванням дроту. У першому и другому методи характеристикою швидкості є температура дроту, в останній - потужність, необхідна для термостабілізації.

Недоліки термоанемометрів - мала механічна міцність, так як використовується дріт значно тонкий, також недоліком є – відхилення калібрування через забруднення і окислення гарячого дроту, але, так як вони майже безінерційна, широко використовується в аеродинамічних експериментах для вимірювання локальної турбулентності і пульсацій потоку.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Професійний теплової анемометр Trotec TA300

Багатофункціональний пристрій Trotec TA300 для вимірювання витрати повітря, температури і швидкості вітру. Пристрій має довгий зонд для вимірювання показників в важкодоступних місцях з максимальною безпекою для оператора. Завдяки інноваційному датчику, анемометр відображає точні результати навіть при низькій швидкості вітру. Прилад має ергономічний корпус, який чудово лежить в руці, а прогумовані вставки не дадуть вислизнути з долоні. Анемометр має безліч додаткових функцій. Надійний, точний і компактний прилад застосовується в багатьох промисловостях. Так наприклад він стане прекрасним помічником інженерам припливно-витяжної вентиляції [14].

Діапазон вимірювання [14]:

- швидкість повітря 0.1...25м/с
- температура навколишнього середовища 0...+50 °С
- витрати 0,001...999 999 м³/мин (СММ)

Точність:

- швидкість повітря $\pm 5\%$ +1 цифра
- температура навколишнього середовища $\pm 1^{\circ}\text{C}$

Розміри / вес:

- розміри приладу (д / ш / в) 210x75x50 мм
- вага 280г.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.6 Професійний теплової анемометр Trotec TA300

Професійний теплової анемометр PCE-423

Пристрій має довгий зонд для вимірювання показників в важкодоступних місцях з максимальною безпекою для оператора. Завдяки інноваційному датчику, анемометр відображає точні результати навіть при низькій швидкості вітру. Прилад має ергономічний корпус, який чудово лежить в руці, а прогумовані вставки не дадуть вислизнути з долоні. Анемометр має безліч додаткових функцій. Надійний, точний і компактний прилад застосовується в багатьох промисловостях. Так наприклад він стане прекрасним помічником інженерам припливно-витяжної вентиляції [15].

Діапазон вимірювання [15]:

- швидкість повітря 0.1...25м/с
- температура навколишнього середовища 0...+50 °C
- витрати 0,001...999 999 м³/мин (СММ)

Точність:

- швидкість повітря $\pm 5\%$ +1 цифра
- температура навколишнього середовища $\pm 1^\circ\text{C}$

Розміри / вес:

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розміри приладу (д / ш / в) 210x75x50 мм
- вага 280г.



Рис. 1.7. Професійний теплової анемометр PCE-423

1.4 Ультразвуковий анемометр

Принцип дії анемометрів ультразвукового типу створювали на вимірюванні швидкості звуку, яка міняється в залежності від ходу вектора руху повітря відсно шляху поширення звуку.

Існують двокомпонентні ультразвукові анемометри - міряють крім швидкості і напрямок вітру по шматкам світу - курс горизонтального вітру і трикомпонентні ультразвукові анемометри - розрахунок всіх трьох компонент вектора швидкості вітру.

Швидкість звуку в подібних анемометрах розраховують за часом проходження ультразвукових імпульсів між закріпленою відстанню від випромінювача до ультразвукового мікрофона, згодом виміряні часи перелічується в дві чи три компоненти швидкості руху повітря.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таким чином що швидкість звуку в повітрі залежить від температури в ультразвукових анемометр неодмінно є термометр, за показниками якого вносяться поправки в обчислення швидкості вітру.

Ультразвукової анемометр RK120-02

Ультразвуковий датчик швидкості і напрямку вітру RK120-02. Являється випробувальним інструментом для вимірювання швидкості вітру і напрямку вітру шляхом отримання різниці в часі ультразвукового поширення в повітрі. Його можна використовувати в суворих умовах, таких як кріогеніка і крижаний дощ. У порівнянні з механічними датчиками вітру, ультразвуковий датчик швидкості вітру і напрямку не має зносу, тривалого терміну служби і швидкого відгуку, безкоштовного обслуговування, ніякої калібрування на місці не потрібно. Це міцна конструкція з сильною антикорозією, легким вагою і легкої установкою і видаленням. RK120-02 може широко використовуватися в екологічному і метеорологічному моніторингу, генерації енергії вітру, мостах, тунелях, морських перевезеннях, авіаційних аеропортах та інших областях [17].

Особливості [17]:

- Без рухомих частин, тривалий термін служби
- Масивна суцільнометалева конструкція
- Принцип прямого випромінювання ультразвукового
- Поверхня консервант обробки
- Сильний анти-перешкод
- Висока точність

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3. Технічні характеристики

	Швидкість вітру	Напряму вітру
Діапазон	0-60 м/с	0-360 °
Дозвіл	0,1 м/с	0,1°
Точність	≤30м/с:0. 3М/s или ± 3% Возьмите большее значение 30-60 м/с: ± 5%	±2°
Початковий поріг	0,1 м/с	0,1 м/с
Екстрім ЗМІ Руху	75М/s	75М/s



Рис. 1.8 Ультразвукової Анемометр RK120-02

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.5 Обертальний момент

Момент сили відносно осі або просто момент сили називається проекція сили на пряму, яка перпендикулярна радіусу і проведена в точці прикладання сили помножена на відстань від цієї точки до осі. Або твір сили на плече її застосування. Плече в даному випадку це відстань від осі до точки прикладання сили. Момент сили характеризує обертальний дію сили на тіло. Ось в даному випадку це місце кріплення тіла, щодо якого воно може здійснювати обертання. Якщо тіло не закріплено, то віссю обертання можна вважати центр мас [18].

F - Сила діюча на тіло.

r - Плече сили.

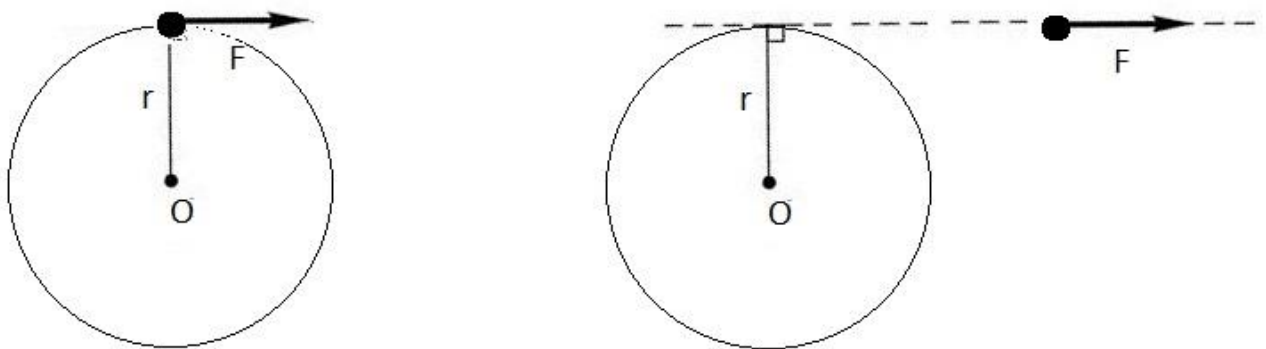


Рис. 5.1 Момент сили

Як помітно з малюнка, плече сили це дистанція від осі до точки прикладання сили. Але це у випадку якщо кут між ними дорівнює 90 градусів. Як тільки це не так, то необхідно вздовж дії сили проводити лінію і з осі опустити на неї перпендикуляр. Перпендикуляр завдовжки і буде дорівнює плечу сили. А пересування точки прикладеної сили уздовж напрямку сили не змінює її моменту.

Прийнято вважати позитивним такий момент сили, який викликає поворот тіла по годинниковій стрілки щодо точки спостереження. А негативним відповідно викликає обертання проти неї. Вимірюється момент

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сили в Ньютона на метр. Один ньютонетров це сила в 1 Ньютон діюча на плече в 1 метр.

Якщо сила, що діє на тіло, проходить уздовж лінії йде через вісь обертання тіла, або центр мас, якщо тіло не має осі обертання. Те момент сили в цьому випадку буде дорівнює нулю. Так як ця сила не буде викликати обертання тіла, а просто буде переміщати його поступально уздовж лінії додатки.

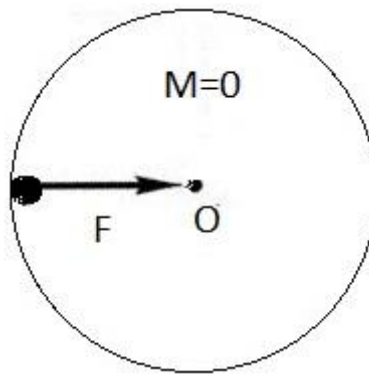


Рис. 5.2 Момент сили дорівнює нулю

У разі якщо на тіло діє кілька сил, то момент сили визначатиме їх рівнодіюча. Наприклад, на тіло можуть діяти дві сили рівні за модулем і спрямовані протилежно. При цьому сумарний момент сили буде дорівнює нулю. Так як ці сили будуть компенсувати один одного.

Моментом сили відносно осі обертання називається фізична величина, що дорівнює добутку сили на її плече.

Момент сили визначають за формулою:

$M = FI$, де F - сила, I - плече сили.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.6 Вимірювання параметрів вітру

Рух повітря відносно земної поверхні називається вітром. Утворення повітряних потоків відбувається завдяки дії таких чинників, як:

- градієнти тиску, що забезпечують рух повітря від зони високого тиску до зони низького;

- гравітаційна сила, що прискорює рух повітря до величини $g = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^2$. Дія вертикального градієнта тиску врівноважується гравітаційною силою;

- сила тертя(F). Сила тертя пропорційна швидкості вітру і має протилежний останньому напрямку;

- сила Коріоліса, що відхиляє напрямок руху повітря (вправо в Північній півкулі, вліво - в Південній);

- відцентрова сила. За великих швидкостей і малих радіусів кривизни вона може значно перевищувати градієнтну силу (тропічні циклони, смерчі).

Основні параметри вітру - швидкість, напрямок і поривчастість.

Швидкість вітру вимірюється в м/сек., хоча можуть застосовуватися такі одиниці як вузол або км /год. Швидкість вітру оцінюється за допомогою шкали Бофорта (табл. 6.1).

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.4 Шкала Бофорта

Бал	Характеристика	м/сек	вузол	км/год.
0	Безвітря	0,0...0,2	<1	<1
1	Легкий вітерець	0,3...1,5	1...3	1...5
2	Легкий бриз	1,6...3,3	4...6	6...11
3	М'який бриз	3,4...5,4	7...10	12...19
4	Помірний бриз	5,5...7,9	11...16	20...28
5	Свіжий бриз	8,0...10,7	17...21	29...38
6	Сильний бриз	10,8...13,8	22...27	39...49
7	Близький до штормового вітер	13,9...17,1	28...33	50...61
8	Штормовий вітер	17,2...20,7	34...40	62...74
9	Сильний штормовий вітер	20,8...24,4	41...47	75...88
10	Шторм	24,5...28,4	48...55	89...102
11	Надзвичайно сильний шторм	28,5...32,6	56...63	103...117
12	Ураган	>32,7	>64	>118

Напрямок вітру визначають щодо сторін світу і позначають або в румбах (8 або 16): північний, північно-східний, східний тощо, або в поділках: одна поділка містить 5о або 10о, залежно від необхідної точності вимірювань [19].

Поривчастість вітру - це стрибкоподібні підсилення і послаблення швидкості вітру [19].

Розглянемо повітряні потоки, що можуть викликати стресові ситуації.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Смерч - сильний вітер у вигляді горловини з вертикальною віссю, що має велику швидкість обертання. В Америці його називають торнадо. Причиною смерчу є великі градієнти тиску, нестійкість нижнього шару атмосфери (до 2 км), що виникає при зіткненні сухих холодних повітряних мас з теплими й вологими. Для оцінки смерчів використовують шкалу Фудзі (табл. 6.2) [19].

Таблиця 1.5 Шкала Фудзі

Категорія	Швидкість, км/год.	Наслідки
F0 (легкий)	64...115	Руйнування телевізійних антен, труб, дерев, вікон
F1 (помірний)	116...179	Перевертання автомобілів, виривання дерев з корінням
F2 (значний)	180...251	Знесення дахів, перевертання рухомих будинків
F3(суворий)	252...330	Руйнування металевих будівель, зсування зовнішніх стін, повал лісів та вилягання угідь
F4 (спустошливий)	331...416	Падіння стін, перенесення металевих та бетонних конструкцій на велику відстань
F5 (неймовірний)	417...509	Перенесення будинків на велику відстань, руйнування шкіл, мотелів
F6(який важко уявити)	510...606	Автомобілі піднімає в повітря

Урагани - тропічні циклони, швидкість яких досягає 80 м/сек. Термін «ураган» стосується екстремальних вітрів, що виникають у північній Атлантиці; аналогічні явища у Тихому океані називають тайфунами. Тривалість ураганів від 1 до 30 днів. Оцінюють урагани за шкалою Сафіра-Сімсона (табл. 6.3) [19].

Таблиця 1.6 Шкала Сапіра-Сімсона оцінки ураганів

Категорія	Швидкість, км/год	Наслідки
1 (мінімальний)	119...153	Руйнування рухомих будинків, часткове затоплення прибережних районів
2 (помірний)	154...177	Суттєве пошкодження рослинності, виривання дерев, затоплення прибережних доріг
3 (великий)	178...279	Руйнування малих будинків, затоплення прибережної території на відстані до 13 км
4 (екстремальний)	210...249	Руйнування дахів, вікон, повне руйнування рухомих будинків, затоплення до 10 км
5 (катастрофічний)	>249	Руйнування будинків, промислових підприємств, потреба в евакуації населення в зоні 8...16 км

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок сил що діють на чашки анемометра

Опис приладу. Чашковий анемометр служить трьох чашкова вертушка, насаджена на вісь і обертається в опорах. На нижній частині осі нарізаний черв'як, об'єднаний з редуктором, що передає рух трьом стрілкам. Циферблат має належні шкали одиниць, сотень і тисяч. Включення і вимикання анемометра проводиться аретиром. Нижня частина корпусу закінчується гвинтом, служить для кріплення анемометра на стійці. У корпусі анемометра по обох боках аретира вкручені вушка, через які пропускається шнур для включення і виключення анемометра, піднятого на стійці. Шнур прив'язується за вушко аретира.

Нехай якщо C_1 та C_2 є коефіцієнтами зчеплення з повітрям то увігнутої та опукла площа чашок відповідно, до сили, що діють на діаметрально протилежні чашки, визначаються за виразом:

$$v_1 = v \left(\frac{1 - \sqrt{C_1 C_2}}{C_1 - C_2} \right), F_y = 1/2 \cdot C_1 \rho S (v - v_1)^2;$$

$$F_0 = 1/2 \cdot C_2 \rho S (v + v_1)^2,$$

де v – швидкість вітру, м/с; v_t – тангенціальна швидкість чашки, що обертається, м/с; ρ – густина повітря, кг/м³; S – площа поперечного перерізу чашки, м, індекси "у" і "о" відповідають увігнутій та опуклій поверхням чашок відповідно.

Обертальна швидкість системи, що перебуває у рівновазі з повітряним потоком, визначає рівність сил F_y та F_0 , звідки:

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_1(v - v_t)^2 = C_2(v + v_1)^2,$$

Розв'язання останнього рівняння відносно v , призводить до виразу:

$$v_1 = v \left(\frac{1 - \sqrt{C_1 C_2}}{C_1 - C_2} \right),$$

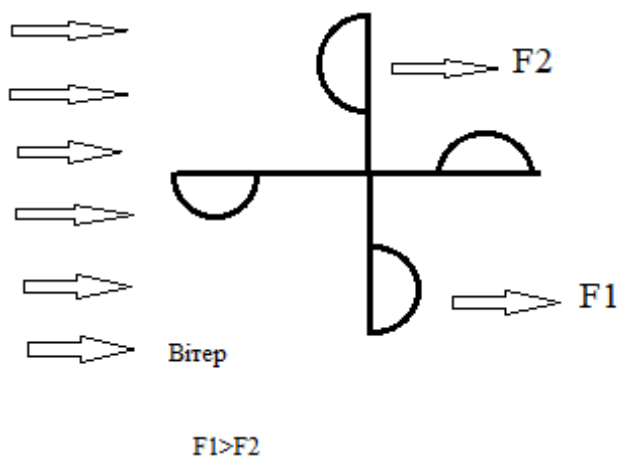


Рис. 2.1. Сили, що діють на чашки анемометра

Для того, щоб, перетворення механічних обертань у сигнали, що повідомляє відносну швидкості вітру, застосовують електричні генератори, оптоелектричні або ємнісні перетворювачі. Плюси чашечкових анемометрів це є лінійна залежність швидкості V , від швидкості вітру o , за умову, що коефіцієнти зчеплення є постійними. Порогова чутливість анемометра буде становить від 90 м/с до 2,24 м/с. Анемометри цього типу дуже прості в експлуатації.

2.2 Анемометр чашковий в динаміці

На рис.2.4. показан ротор чашка ротора з трьома чашками, що піддаються впливу поля вітру з трьома компонентами, два перпендикулярно осі анемометра, u і v , а одна вздовж осі w . $(u_1, u_2, u_3) \Rightarrow (u, v, w)$.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

З відповідною швидкістю обертання

Ротор s (в радіанах в секунду) найбільш загальний вид рівняння руху є:

$$\dot{\tilde{s}} \equiv \frac{d\tilde{s}}{dt} = F(\tilde{s}, \tilde{h}, \tilde{w}), \tag{2.1}$$

$$\tilde{h} = \sqrt{\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2} \tag{2.2}$$

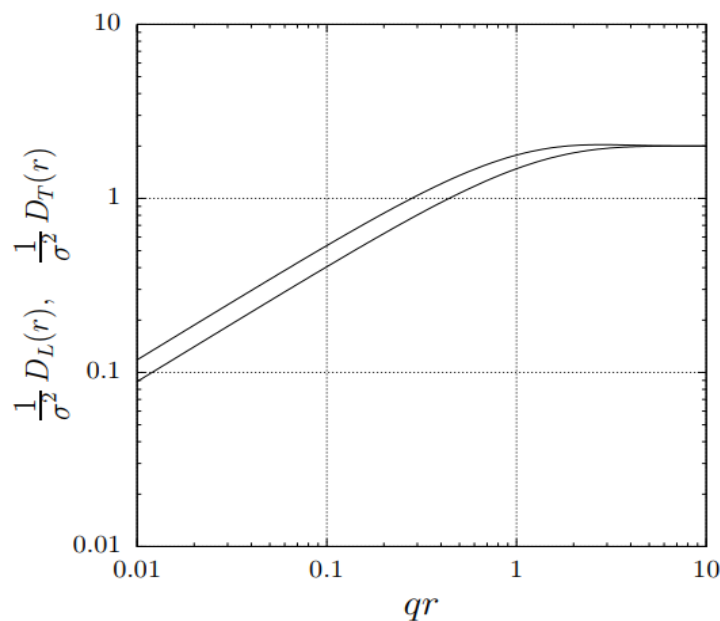
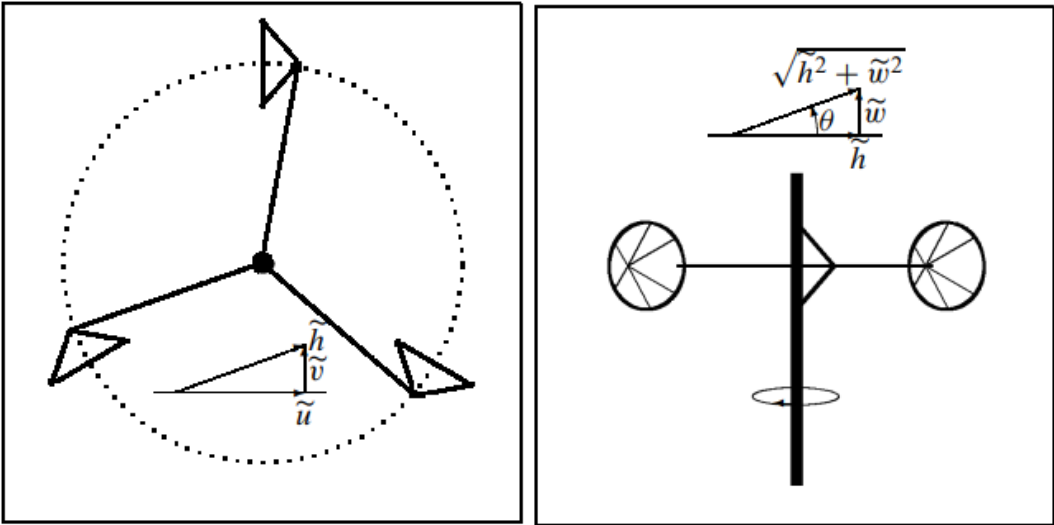


Рис. 2.2 Нормалізовані поздовжні і бічні функції структури. Нижня крива показує $D_L(r)/\sigma^2$ і верхня $D_T(r)/\sigma^2$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ПІ5105.000.000 ПЗ

Арк.
34

Рис. 2.3 Ескіз чашечного анемометра та показання миттєвих компонентів вітрової швидкості. Ліва рамка: вид зверху. Права рамка: вид збоку.

Сумарний компонент, перпендикулярний осі. При постійному вітрі без турбулентності (аеродинамічна труба) з $(u, v, w) = (U, 0, 0)$ ротор буде мати Постійна кутова швидкість $s = S$. Вставляючи в (2.1), отримуємо:

$$0 = F(S, U, 0). \quad (2.3)$$

Це рівняння визначає калібрування, яке для хорошого чашкового анемометра можна вважати лінійним, тобто.

$$S = \frac{U - U_0}{\ell}, \quad (2.4)$$

де ℓ - довжина калібрування, і U_0 початкова швидкість. Ця кількість, як правило, невелика, приблизно 0,2–0,3 м / с, тому при вивченні динаміки чашкового-анемометра встановлюємо U_0 рівним нулю. Ми замінили

$$\ell S = U,$$

У турбулентному полі вітру розкладаємо s та (u, v, w) наступним чином

$$\begin{Bmatrix} \tilde{s} \\ \tilde{u} \\ \tilde{v} \\ \tilde{w} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} S + s \\ U + u \\ v \\ w \end{Bmatrix},$$

де U дорівнює середньому значенню $\tilde{u}$ і S задано (2.4). Ми повинні це припустити $|s| \ll S, |u| \ll U, |v| \ll U, |w| \ll U$ щоб чашковий анемометр працював задовільно. Безпосередній наслідок це припущення, що до другого порядку ми маємо:

$$\tilde{h} = \sqrt{(U + u)^2 + v^2} = U \left(1 + 2\frac{u}{U} + \frac{u^2 + v^2}{U^2} \right)^{1/2}$$

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\simeq U \left(1 + \frac{1}{2} \left(2 \frac{u}{U} + \frac{u^2 + v^2}{U^2} \right) + \frac{(1/2) \times (-1/2)}{2} \left(2 \frac{u}{U} \right)^2 \right) = U + u + \frac{v^2}{2U}$$

Спочатку ми спрощуємо модель, розглядаючи лише горизонтально флюктууючий вітер, тобто $\tilde{W} = 0$. Динамічне рівняння (2.1) зменшується до:

$$\dot{\tilde{s}} = F(\tilde{s}, \tilde{h}, 0) \equiv G(\tilde{s}, \tilde{h}) \quad (2.5)$$

і (2.3):

$$0 = G(S, U).$$

Розширюємо (2.5) до другого порядку в s , u і v , отримуємо:

$$\begin{aligned} \dot{s} = & \underbrace{G(S, U)}_{=0} + \frac{\partial G}{\partial S} s + \frac{\partial G}{\partial U} \left(u + \frac{v^2}{2U} \right) \\ & + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 G}{\partial S^2} s^2 + 2 \frac{\partial^2 G}{\partial S \partial U} su + \frac{\partial^2 G}{\partial U^2} u^2 \right). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Всі перші і другі похідні взяті в точці (S, U) . Нехтуючи першими умовами другого порядку, бачимо, що (2.6) стає рівнянням для лінійного фільтра першого порядку. Оскільки рішення повинно бути кінцевим, ми можемо зробити висновок $\partial G / \partial S$ має бути від'ємним. Фактично ця похідна визначає часову константу фільтра τ_0 від:

$$\frac{1}{\tau_0} = - \frac{\partial G}{\partial S}.$$

2.3 Структурна схема перетворювача

Обертання вертушки передається валом счетному механізму. Лічильний механізм складається з цифрового датчика Холла, розміщеного на друкованій платі, а також двох неодимові магніти, закріплених на валу обертання чашок. При проходженні магнітом датчика Холла, останній замикається і передає логічний рівень на мікроконтролер. Швидкість вітру розраховується по

	формули 1:				ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						356
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V = R \cdot \pi / \Delta t \quad 1,$$

де v – швидкість вітряного потоку, R – радіус чотирехчашечної метеорологічної вертушки, Δt – період спрацьовування датчика Холла

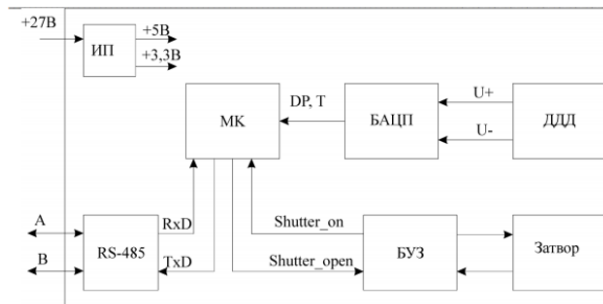


Рис.2.4 Структурна схема

Вона складається з шести основних елементів, які перетворюють сигнал і управляють виконавчими електромеханічними частинами датчика:

- мікроконтролер (МК);
- блок аналого-цифрового перетворення (БАЦП);
- диференційний датчик тиску (ДДД). Тензомодуль тиску типу ТДМ1;
- блок управління затвором (буз);
- джерело живлення (ІП);
- затвор.

2.4 Розрахунок швидкості вітру в приміщенні

Прилад вмикають та вимикають важільним-арретиром, який розташований на боковій частині корпусу анемометра. Вимірювання розпочинаються із записування показників з всіх трьох циферблатів анемометра. Якщо одночасно увімкнути важеля вмикають секундомір. Через 100 с анемометр закінчує працювати і знову пишуть його покази.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		367

Різниця між даними до та після досліду, поділена на час (100 с), показує швидкість повітряного потоку в поділках за секунду.

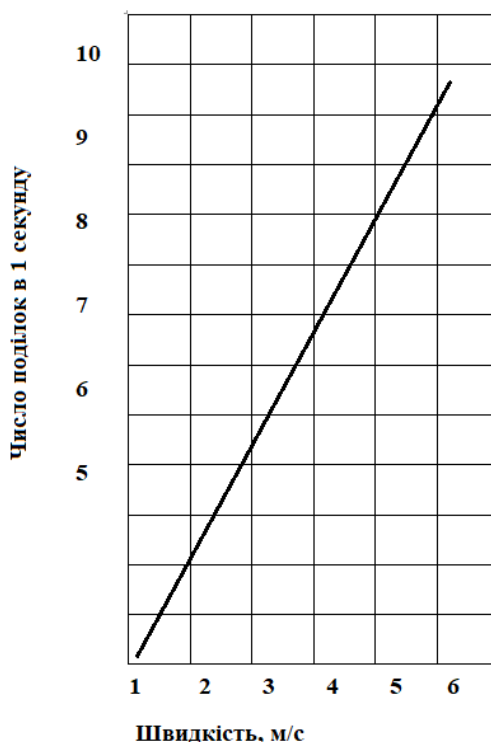


Рис.2.5 Графік переведення лічильника анемометра в покази швидкості руху повітря

Розподіл швидкостей в цьому перерізі потоку повітря нерівномірний розподілене, тому для визначення середніх показників швидкості використовуються два методи:

1.Визначення середньої швидкості обводом перерізу способи називаються "перед собою" і в "перерізі". Коли вимірюють способом "в перерізі" людина, що замірює, підходить спиною до стінки переміщує анемометр у витягнутій руці, переміщує його поперек приміщення обводячи ним рівномірно по всьому поперечному перерізу приміщення. При замірі "перед собою" людина, що замірює розташовується по ходу струменя за анемометром, лицем назустріч до повітря. Таким чином анемометр переміщується в близьких, але різних перерізах приміщення.

При замірі методом "по точках" переріз приміщення розбивається на умовні площадки, в центрах яких вимірюється швидкість потоку. Потім визначається середня швидкість для всього перерізу.

Отриманий при вимірі результат (число поділок в одиницю часу) множиться на поправочний коефіцієнт, який враховує положення замірника і дорівнює при замірі "перед собою" - 1,14, а при замірі "в перерізі" визначається за формулою:

$$k = \frac{S - 0,4}{S},$$

де S - площа перерізу приміщення, м²; 0,4 - середня площа, яку займає тіло людини, що заміряє швидкість руху повітря.

В першому випадку введення коефіцієнту викликане тим, що замірник знаходиться в одному перерізі з анемометром і загороджує частину поперечного перерізу приміщення, внаслідок чого швидкість повітря дещо зростає.

2. В кожному місці заміри проводяться по три рази, за результатами яких визначають середню швидкість руху повітря. 3. При замірі швидкості анемометром, який кріпиться на жердині довжиною 1,5 м та більше, поправочний коефіцієнт не вводиться. 4. Для визначення площини поперечного перерізу приміщень складної форми рекомендується користуватися методом розподілу перерізу на елементарні фігури правильної форми.

Знайти об'ємну швидкість повітря в приміщенні за допомогою чашкового анемометру способом "в перерізі» за такими даними: поперечний переріз приміщення параболічної форми; термін заміру швидкості повітря t = 100с.

1.Об'ємна швидкість повітря визначається за формулою:

де £ - площа поперечного перерізу приміщення, м²;

$$Q = S \times V_{\text{ср}} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						389
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$V_{\text{іст}}$ - абсолютна істинна швидкість повітря, м/с.

2. Абсолютна істинна швидкість повітря знаходиться за виразом:

де $V_{\text{гр}}$ - абсолютна швидкість повітря знайдена за індивідуальним графіком анемометра, м/с;

$$V_{\text{іст}} = V_{\text{гр}} \times k, \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

k - поправочний коефіцієнт.

3. Поправочний коефіцієнт для способу "в перерізі" знаходиться за формулою:

$$k = \frac{S - 0,4}{S},$$

де S - площа перерізу приміщення, м²;

0,4 - середня площина, яку займає тіло людини, що заміряє швидкість руху повітря.

4. Абсолютна швидкість повітря $V_{\text{гр}}$ визначається з відносної швидкості n .

5. Відносну швидкість визначаємо експериментально за величиною $\tau = 100$ с чашковим анемометром за виразом:

$$n = \frac{m_2 - m_1}{\tau}, \text{под/с}$$

де m_1 – поділки, що відповідають початкового відліку, под/с;

m_2 - поділки, що відповідають початкового відліку, под/с;

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

τ – термін заміру швидкості повітря, с.

6. Площину поперечного перерізу приміщення визначаємо за етапами:

а) розбиваємо криволінійну форму поперечного перерізу на елементарні геометричні фігури .

б) визначаємо приблизну загальну площу поперечного перерізу:

$$S_{\text{заг}} = S_1 + 2S_2 + 2S_3 + 2S_4 + 2S_5 = ab + 2\left(\frac{1}{2}ab\right) + 2\left(\frac{1}{2} \times \frac{a}{2}l\right) + 2\left(\frac{2}{3}dh\right) + 2\left(\frac{2}{3}fh_1\right) =$$

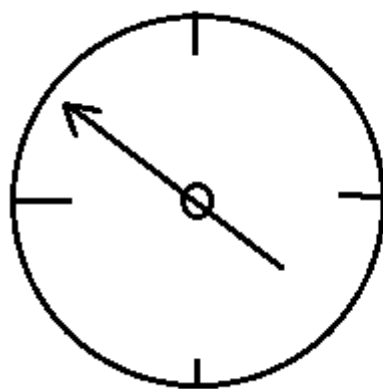
$$(3,5 \times 3,3) + 2\left(\frac{1}{2} \times 1,25 \times 3,3\right) + 2\left(\frac{1}{2} \times 1,75 \times 1,0\right) + 2\left(\frac{2}{3} \times 3,5 \times 0,3\right) + 2\left(\frac{2}{3} \times 2 \times 0,2\right) = 19,35 \text{ м}^2$$

в) визначаємо поправочний коефіцієнт за формулою

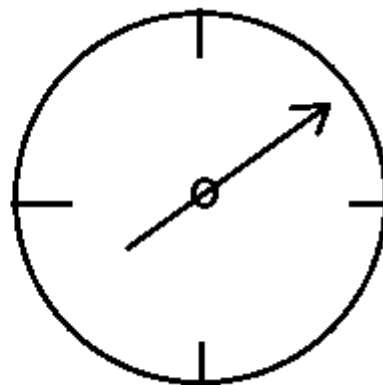
$$k = (S - 0,4)/S = (19,35 - 0,4)/19,35 = 0,979$$

7. Забір швидкості повітря проводимо методом обводу перерізу приміщення способом "перед собою" за $\tau = 100$ с.

Початковий (Рисунок 2.6, а) відлік на шкалах анемометру знімаємо таким чином:



А)



Б)

Рисунок 2.6 – Відлік поділок на шкалах чашкового анемометру

1. Записуємо першу найближчу цифру на шкалі "тисяч" по ходу обертів до стрілки – це буде цифра "1".

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2. Другою записуємо одну найближчу цифру на шкалі "сотень" по ходу обертів до стрілки – це буде цифра "8".

3. Останніми записуємо дві цифри (між "0" і стрілкою) на шкалі "десятків і одиниць" – це будуть цифри "8" і "4".

Таким чином початкові показання анемометру складуть – $m_1 = 1884$ поділки.

Кінцевий (Рисунок 2.6 б) відлік на шкалах анемометру знімаємо аналогічним чином. Він складає $m_2 = 2012$ поділок.

8. Визначаємо відносну швидкість повітря:

$$n = \frac{m_2 - m_1}{\tau} = \frac{2012 - 1884}{100} = 1,28 \text{ под / с}$$

9. Визначаємо абсолютну швидкість повітря за індивідуальним графіком анемометру (Рисунок 2). $V_{гр} = 0,53$ м/с.

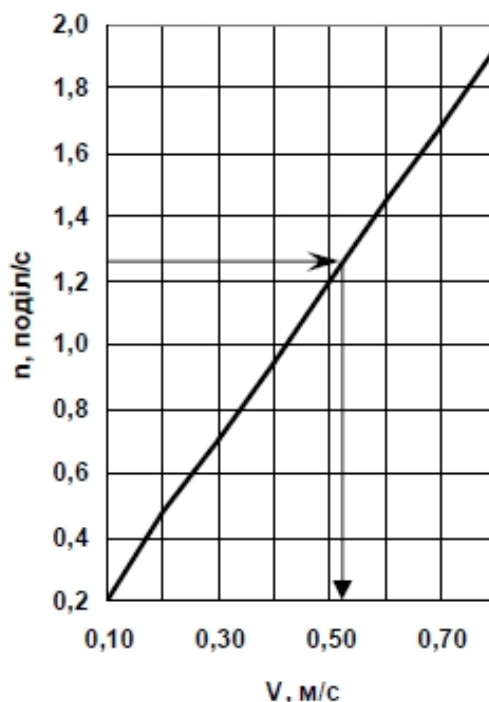


Рис.2.7 Знаходження абсолютної швидкості за індивідуальним графіком анемометру

10. Знаходимо істинну швидкість повітря:					Арк.
ДП ПІ5105.000.000 ПЗ					42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

$$V_{\text{ст}} = V_{\text{гр}} \times k = 0,53 \times 0,98 = 0,52 \text{ м/}$$

2.5 Вибір числа чаш

Число чаш в чутливих елементах анемометрів може бути різним. Відомі промислово вироблені моделі з трьох чаш (найбільш поширені) і чотирьох чаш. В літературі також описана конструкція з 6 чаш. У конструкції з 4 чашами останні розташовані під кутом 90 градусів відносно один до одного. У трехчашечной вертушці кут між чутливими елементами (чашами) становить 120 градусів. Шестічашечний анемометр є дворівневу конструкцію, де чаші повернені відносно один одного на 60 градусів. Вибір кількості чаш може бути обґрунтований з точки зору чутливості анемометра до швидкості вітру. Від числа чаш залежить момент сили, що обертає вал анемометра. Для кількісного опису взаємозв'язку між цим моментом і швидкістю впливає вітру можна використовувати коефіцієнт аеродинамічного сили C_N . Останній служить в якості коефіцієнта пропорційності між аеродинамічної силою N і квадратом швидкості вітру в моделях, якими зазвичай описують рівномірні повітряні потоки: чим більше величина C_N , тим більший момент створюється на осі обертання анемометра за вітряної погоди одній і тій же швидкості. Дана залежність відображена у формулі 1.

$$N = \frac{1}{2} \rho V^2 S_c C_N,$$

На рис.5.1 представлена залежність коефіцієнта аеродинамічної сили C_N конусоподібної чаші з кутом розчину 90 градусів від кута повороту чаші α відносно напрямку вітру V .

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

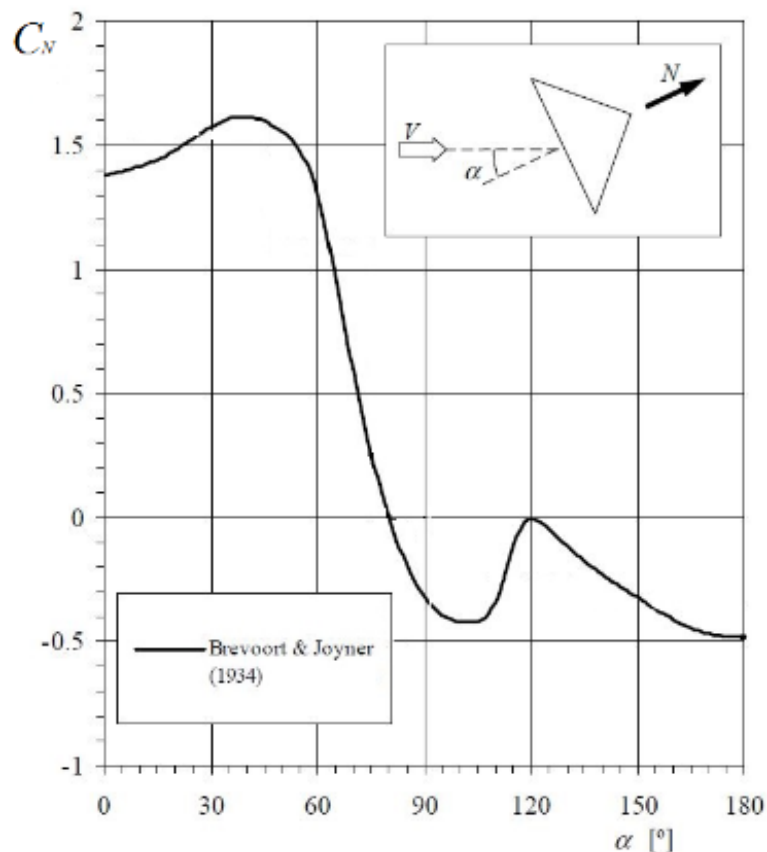


Рис.2.8 Залежність коефіцієнта аеродинамічної сили C_N конусоподібної чаші від кута повороту чаші α щодо напрямку вітру V

Залежність розраховувалася Брівортом і Джойнер для чаші висотою 25 мм і діаметром 50 мм. Як можна помітити, максимальний момент виникає при повороті чаші на кут 40 градусів щодо напрямку вітру. Мінімальний момент створюється при 80, 120, 240 і 280 градусах. Для того щоб переконатися, яку саме кількість чаш зробить анемометр найбільш сприйнятливим до вітру, були зроблені наступні розрахунки. Був підрахований повний (крутний, від усіх чаш) коефіцієнт C_N для трехчашечной і четырехчашечной конструкцій при різному напрямку вітру в умовний момент початку обертання вертушки. Чаші кожної з конструкцій були пронумеровані проти годинникової стрілки. Було здійснено вирівнювання анемометрів по чаші No 1 у напрямку на умовний север. Вектор напрямку повітряного потоку V условно прямував з чотирьох основних напрямків:

північного, західного, південного і східного. Результати розрахунків наведені в табл.2.1 (виконані на підставі даних рис. 2.1). Схема виконуваних розрахунків проілюстрована малюнками 2.9, 2.10, 2.11 і 2.12.

Таблиця 2.1

Результати розрахунків коефіцієнтів C_N у трехчашечной і четырехчашечной конструкції

Тип вертушки	Напрямок вітру	Коефіцієнт C_N у чаш № на кут α								Повний результуючий (крутний, від усіх чаш коефіцієнт) C_N
		№1	α°	№2	α°	№3	α°	№4	α°	
3 чаш	північне	-0,30	270	1,55	30	-0,30	150			0,95
4 чаш	північне	-0,30	270	1,40	0	-0,30	90	-0,50	180	0,30
3 чаш	західне	-0,50	180	1,30	300	0,80	60			1,60
4 чаш	західне	-0,50	180	-0,30	270	1,40	0	-0,30	90	0,30
3 чаш	східне	1,40	0	-0,10	120	-0,10	240			1,20
4 чаш	східне	1,40	0	-0,30	90	-0,50	180	-0,30	270	0,30
3 чаш	південне	-0,30	90	-0,30	210	1,55	330			0,95
4 чаш	південне	-0,30	90	-0,50	180	-0,30	270	1,40	0	0,30

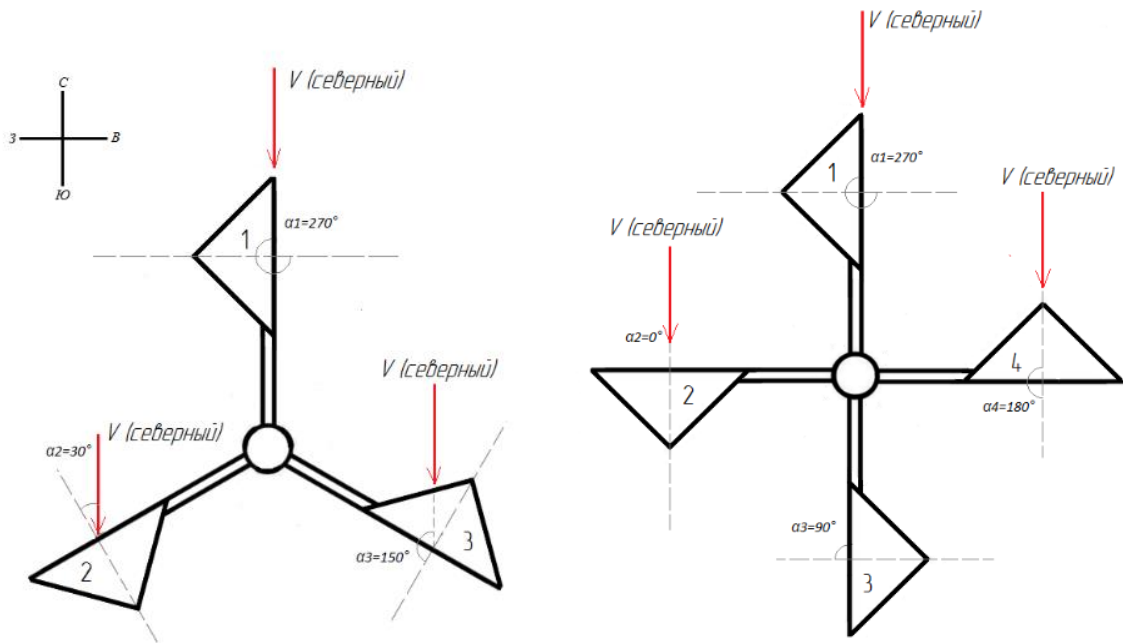


Рис. 2.9. Ілюстрація схеми розрахунків: напрямок вітру північне

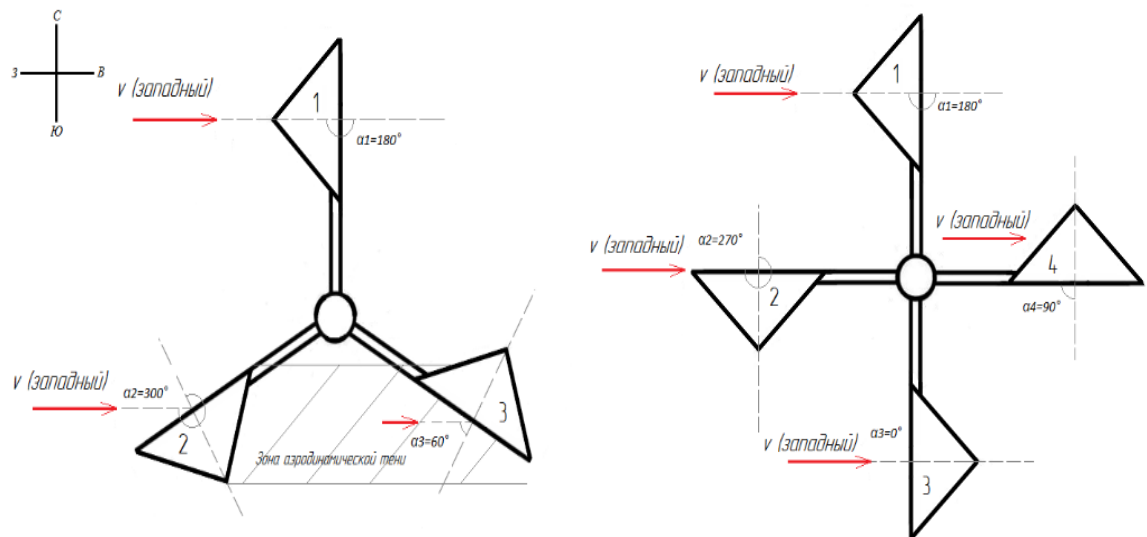


Рис. 2.10 Ілюстрація схеми розрахунків: напрямок вітру західне

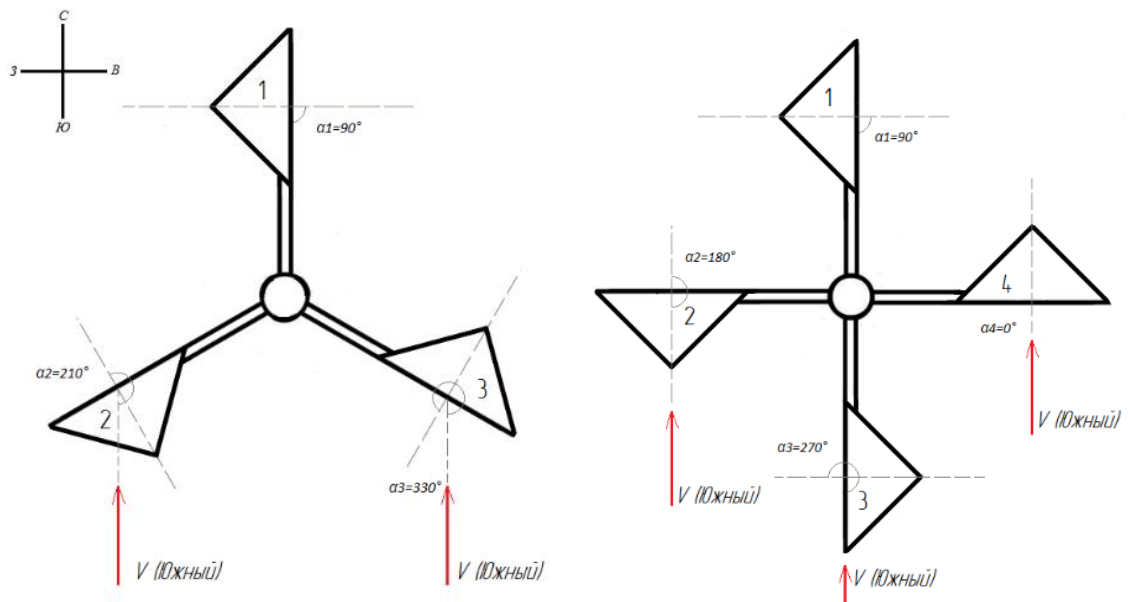


Рис. 2.11 Ілюстрація схеми розрахунків: напрямок віра південне

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ПІ5105.000.000 ПЗ

Арк.

46

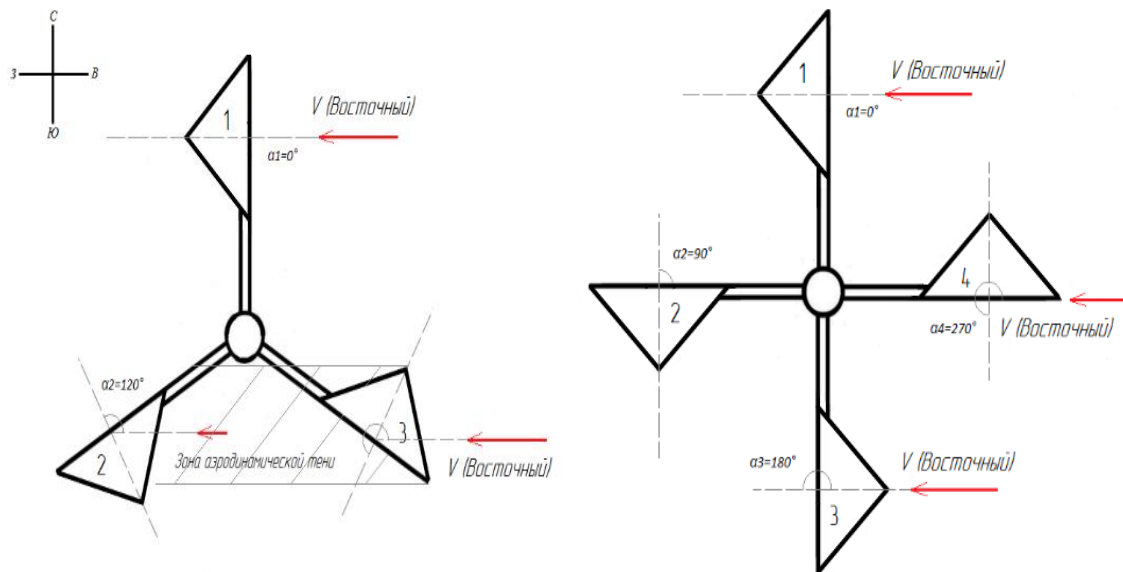


Рис. 2.12. Ілюстрація схеми розрахунків: напрямок вітру східне

Як можна помітити за результатами таблиці 2.1 і рис. 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, найбільший результуючий коефіцієнт сили виникає у трехчашечной конструкції. У даного типу вертушки виникає меншу протидію обертанню.

Слід зауважити, що при деяких положеннях чаш одна з них може виявитися в аеродинамічній тіні сусідній до неї. Це може, як позитивно позначитися на обертанні, так і негативно (як збільшити момент обертає сили, так і зменшити його). Найбільш схильні до цього явища четырехчашечная вертушка. Це можна помітити, якщо направити умовний вектор повітряного потоку з північно-західного напрямку, при цьому зорієнтувати вертушки по одній з чаш (№1), як це зроблено на рис. 2.13.

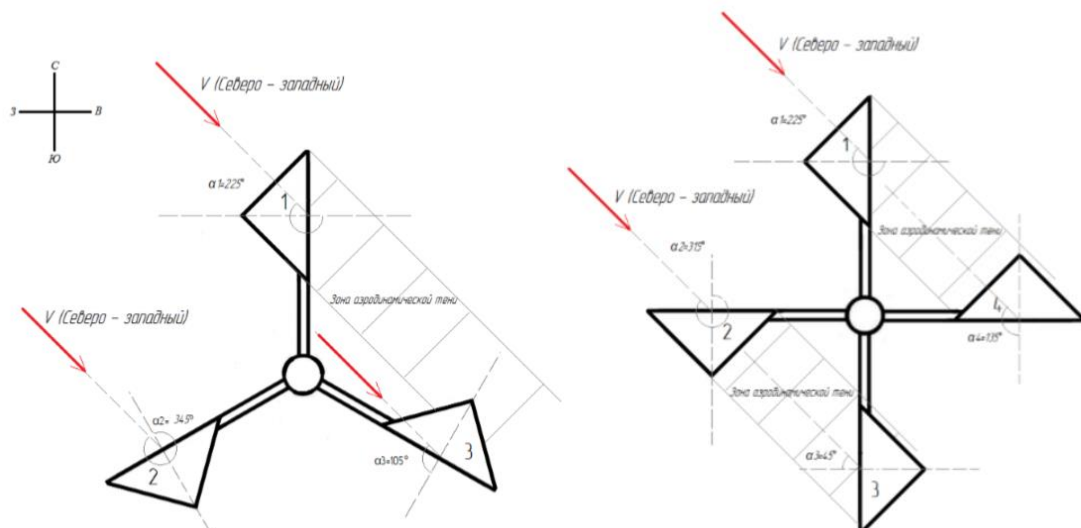


Рис. 2.13 Ілюстрація схеми розрахунків, що відповідає виникненню найбільшою аеродинамічній тіні

Розглянемо схему розрахунків коефіцієнтів C_p в момент виникнення найбільшої аеродинамічній тіні (Рис. 2.13). Чаші №1 у обох вертушок вирівняні у напрямку на умовний північ. Вектор напрямку повітряного потоку V спрямований з північно-західного напрямку. У тінь іншої чаші можуть потрапити до двох з чотирьох чаш для 4-хчашечного анемометра, а в разі трехчашечного анемометра - всього одна. Результати зразкових оціночних розрахунків коефіцієнтів C_N для такої ситуації наведені в таблиці 2.1 (виконані на підставі даних рис. 2.9).

Таблиця 2.2

Результати розрахунків коефіцієнтів C_p у трехчашечной і четырехчашечной конструкції в момент утворення максимальної аеродинамічної тіні

Виходячи з приблизних розрахунків коефіцієнтів C_p в момент виникнення аеродинамічної тіні, четырехчашечная конструкція трохи виграє у трехчашечной. Однак якщо порівняти величину цього виграшу зі значеннями

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

табл. 2.2 видно, що в середньому на один оборот обертання анемометра момент,

Тип вертушки	Напрямок вітру	Коефіцієнт C_N у чаш № на кут α								Повний результуючий (крутий, від усіх чаш коефіцієнт) C_N
		№1	α°	№2	α°	№3	α°	№4	α°	
3 чаш	північно - західний	-0,20	225	1,45	345	-0,10	105			1,15
4 чаш	північно - західний	-0,20	225	1,55	315	0,10	45	-0,10	135	1,35

що впливає на конструкцію з 3 чашами, більше, ніж момент, що впливає на конструкцію з 4 чашами.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Вступ

Технологічністю конструкції називається така властивість окремих деталей, складальних одиниць и приладів в цілому, при якій для даних умов, даних програмі випуску та даних технічних вимогах до приладу забезпечується найбільш швидке та економічне освоєння його виробництва, а також найбільш раціональне його виготовлення. Технологічність конструкції приладу та його деталей треба розглядати як функцію програми випуску й серійності та треба розуміти як комплексне рішення задачі, що враховує вимоги технологічних процесів всіх стадій виробництва.

3.2. Визначення основних показників технологічності

Абсолютний техніко-економічний показник трудомісткості виготовлення T_v виражається сумою нормо-годин, витрачених на виготовлення виробу:

$$T_v = \sum_i T_i \quad (3.1)$$

, де T_i – трудомісткість виготовлення й випробувань i – її складової частини виробу в нормо-годинах.

$$T_v = 97 \quad (3.2)$$

Рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення K_{ym} визначається як відношення досягнутої трудомісткості виробу T_v до базового показника трудомісткості виготовлення T_{bv} :

$$K_{ym} = \frac{T_v}{T_{bv}} = \frac{97}{100} = 0.97 \quad (3.3)$$

Технологічна собівартість виробу C_m визначається як сума витрат на одиницю виробу:

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_T = C_M + C_3 + C_{ЦР} = 2600 + 6400 + 200 = 9200 \quad (3.4)$$

де C_M – вартість матеріалів, що затрачують на виготовлення виробу; C_3 – заробітна платня виробничника з нарахуваннями; $C_{ЦР}$ – цехові витрати, що включають витрати на електроенергію, споживану устаткуванням, на ремонт і амортизацію обладнання, інструменту і пристосувань, на мастильні, охолоджуючі, обтиральні та інші матеріали, передбачені процесом виробництва виробу.

Рівень технологічності конструкції за технологічною собівартістю визначається як відношення досягнутої собівартості виробу C_m до технологічної собівартості базового виробу $C_{б.м.}$:

$$K_{y.c.} = \frac{C_T}{C_{б.м.}} = \frac{9200}{5000} = 1.84 \quad (3.5)$$

3.3. Визначення додаткових показників технологічності

3.3.1. Техніко-економічні показники трудомісткості

Відносна трудомісткість заготівельних робіт $m_{o.з.p.}$ дорівнює відношенню трудомісткості виготовлення всіх видів заготовок $T_{зр}$ до загальної трудомісткості виготовлення виробу $T_в$:

$$m_{o.з.p.} = \frac{T_{з.p.}}{T_в} = \frac{80}{97} = 0.82 \quad (3.6)$$

Відносна трудомісткість виду процесу виготовлення $m_{o.i}$ визначається як відношення трудомісткості окремого процесу виготовлення (обробки і складання) T_i до загальної трудомісткості:

$$m_{o.i} = \frac{T_i}{T_в} = \frac{80}{97} = 0.82 \quad (3.7)$$

Відносна трудомісткість підготовки виробу до функціонування $m_{o.n.ф}$ визначається як відношення трудомісткості підготовки виробу до

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

функціонування $T_{n.ф}$ до трудомісткості виготовлення:

$$m_{o.n.ф.} = \frac{T_{n.ф}}{T_n} = \frac{90}{97} = 0.93 \quad (3.8)$$

Питома трудомісткість виготовлення виробу $m_с$ визначається як відношення трудомісткості виготовлення до номінального значення основного технологічного параметра P виробу ($P=8.2$):

$$m_{n.ф.} = \frac{T_{n.ф}}{P} = \frac{90}{8.2} = 10.98 \quad (3.9)$$

Цей показник є зручною характеристикою для порівняльної оцінки виробів.

$$m_с = \frac{T_с}{P} = \frac{97}{8.2} = 11.83 \quad (3.10)$$

3.4. Технічні показники уніфікації конструкції

Коефіцієнт уніфікації виробу K_y визначається за формулою

$$K_y = \frac{E_y + D_y}{E + D}, \quad (3.11)$$

де E_y – кількість уніфікованих складальних одиниць у виробі; $E_y=0$

D_y – кількість уніфікованих деталей; $D_y=4$

E – загальна кількість складальних одиниць у виробі; $E=2$

D – загальна кількість деталей. $D=10$

Елементи і деталі які мають нормалізовану конструкцію, широко використовуються, стандартні та покупні називають уніфікованими. Порівняння проводять за умови: якщо коефіцієнт $K_y < 0.25$, технологічність виробу низька; якщо $K_y = 0.25 \dots 0.5$, - задовільна; якщо $K_y > 0.5$, - добра.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_y = \frac{0+4}{2+10} = \frac{4}{12} = 0.33 (3.12)$$

Для заданого чашкового анемометра $K_y=0.33$ (задовільна).

Коефіцієнт уніфікації складальних одиниць аналізованого виробу:

$$K_{y.c} = \frac{E_y}{E} (3.13).$$

Порівняння ведеться за умови: якщо коефіцієнт $K_{y.c} < 0.2$, технологічність виробу низька; якщо $K_{y.c} = 0.2 \dots 0.4$, - задовільна; якщо $K_{y.c} > 0.4$, - добра. Для заданого приладу коефіцієнт $K_{y.c} = 0$, (низька).

Коефіцієнт уніфікації деталей :

$$K_{y.d} = \frac{D_y}{D} (3.14),$$

якщо коефіцієнт $K_{y.d} < 0,2$, технологічність виробу низька; якщо $K_{y.d} = 0.3 \dots 0.6$, - задовільна; якщо $K_{y.d} > 0.6$, - добра. Для заданого приладу коефіцієнт $K_{y.d} = 0.4$ (задовільна).

3.5. Показник складності конструкції виробу

Визначається коефіцієнтом цілісності конструкції, який враховує рівень дискретності всієї конструкції:

$$K_{cб} = \frac{E}{D}, (3.15)$$

Чим більше значення цього коефіцієнта, тим більш технологічний виріб, тим ліпше проводити складання і контролювати якість складального процесу. Порівняльний аналіз слід вести за умови: якщо $K_{cб} < 0.2$, технологічність виробу

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

низька; якщо $K_{сб}=0.2...0.4$, - задовільна; якщо $K_{сб}>0.4$, - добра. Для заданого приладу коефіцієнт $K_{сб}=0.5$ (добра).

3.6. Технічний показник уніфікації вживаних процесів

Коефіцієнт вживання типових технологічних процесів K_{mn} визначається як відношення кількості типових технологічних процесів виготовлення (ремонту, технічного обслуговування) до загальної кількості Q_n , вживаних при цьому технологічних процесів:

$$K_{m.n} = \frac{Q_{m.n}}{Q_n}, (3.16)$$

де Q_{mn} – число типових технологічних операцій, Q_n – число всіх необхідних технологічних операцій для складання даного виробу.

Умова порівняння: якщо коефіцієнт $K_{mn} < 0.5$, технологічність виробу низька; якщо $K_{mn} = 0.5...0.75$, - задовільна; якщо $K_{mn} > 0.75$, - добра.

В нашому випадку $Q_{mn} = 6$; $Q_n = 9$. Звідси коефіцієнт використовуваних типових технологічних процесів $K_{mn} = 0.667$ (задовільна).

Після проведення аналізу конструкції приладу, обчисливши всі необхідні показники технологічності, робимо висновок, що загальна технологічність виробу по більшості вище розглянутих показників є технологічною.

Комплексний показник технологічності розрахуємо за формулою:

$$K_k = K_y + K_{y.o} + K_{сб} + K_{m.n}; (3.17)$$

$$K_k = 0.33 + 0.4 + 0.5 + 0.667 = 1.897.$$

Комплексний показник показує ступінь відпрацювання на технологічність конструкції виробу.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.7 Побудова схеми складального складу

На основі аналізу конструкції виробу будується схема складального складу. Вся конструкція виробу поділяється на окремі елементи, які групуються в структурні одиниці. Виріб складається з 10 деталей і 2 складальних одиниць.

На рисунку 3.1 показана схема складального складу.

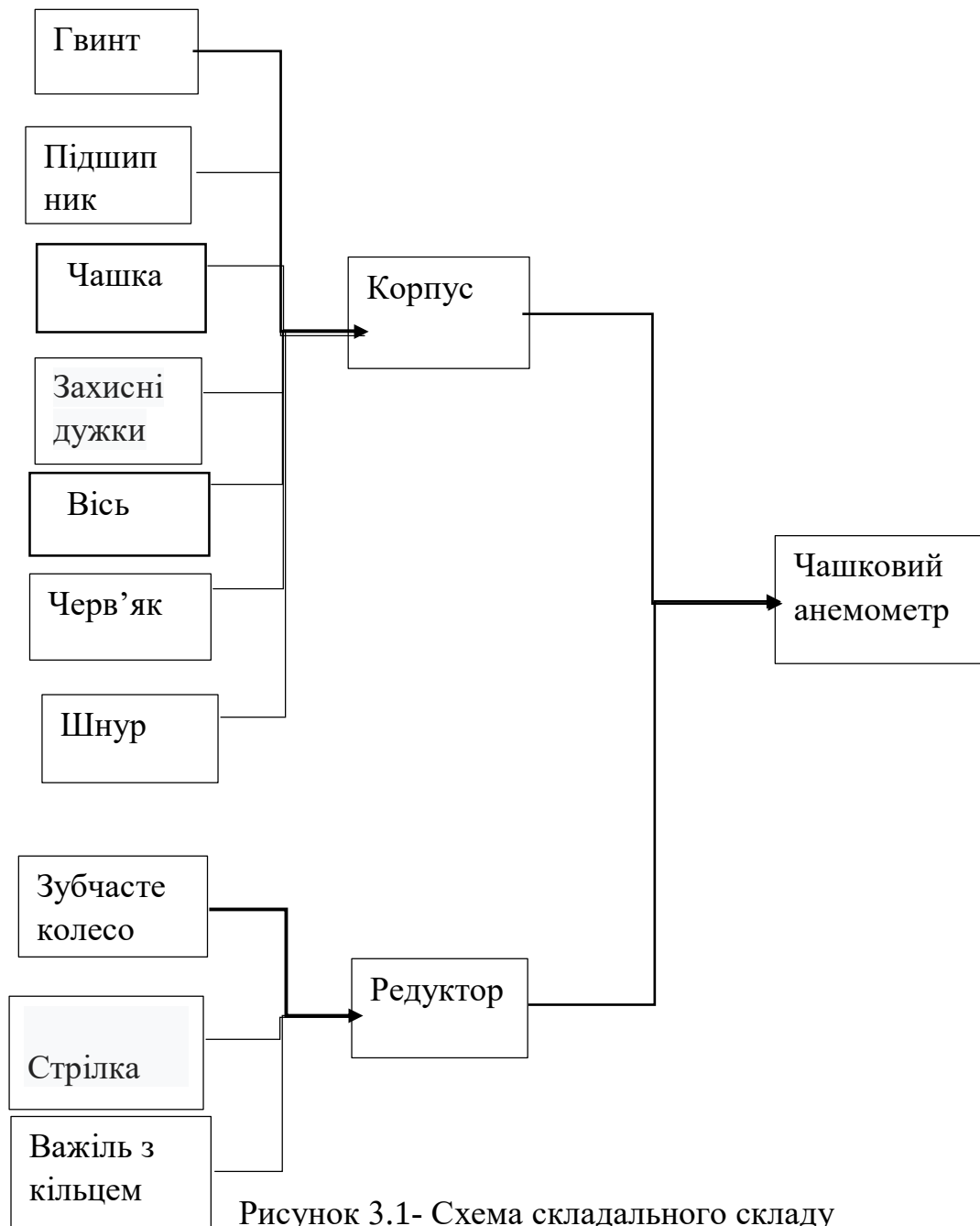


Рисунок 3.1- Схема складального складу

Схема складального складу – документ, що дозволяє правильно спроектувати технологічну схему складання і весь технологічний процес.

3.8 Побудова технологічної схеми складання.

Технологічна схема складання – це схема, на якій показана необхідна послідовність операцій і комплектуючих їх складальних елементів, вказуються можливі методи з'єднань, місця контролю правильності складання.

На рисунку 3.2 показана технологічна схема складання даного виробу.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

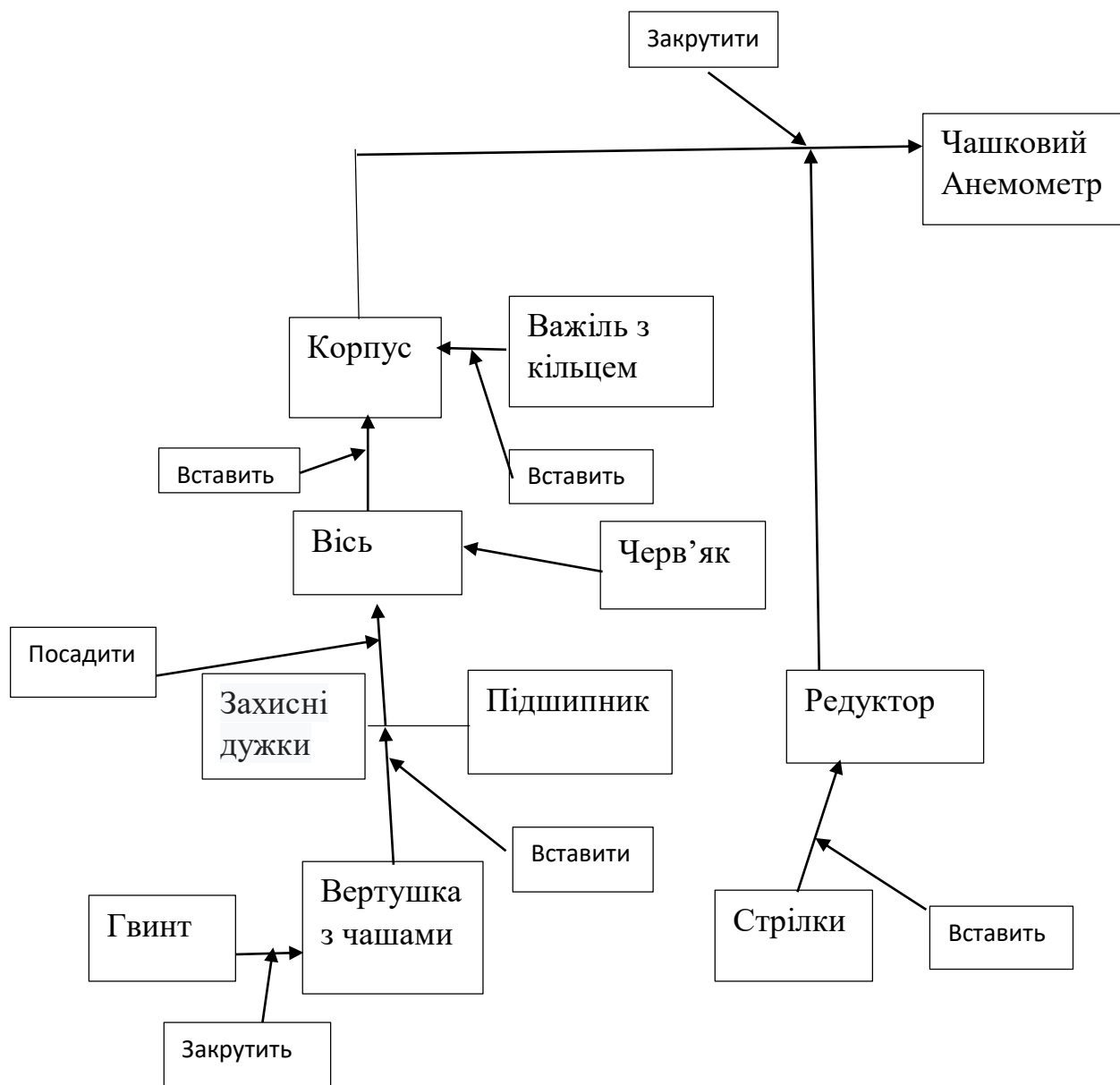


Рисунок 3.2 – Технологічна схема складання

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ПІ5105.000.000 ПЗ

Арк.

57

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проекту розглянуто крильчатий анемометрів , теплові анемометри, ультразвуковий анемометр та чашковий анемометр. Їх застосування, принцип роботи , функціональні обмеження та будову анемометрів.

Проведено розрахунки чашковий анемометр та аналізував геометричну конструкцію. Вибрав оптимальний чашковий анемометр між трехчашечною і четырехчашечною конструкцією.

Розглянув чашковий анемометр в динаміці та виміряв параметри вітру.

Проведено аналіз технологічності: оцінено рівень технологічної конструкції приладу; розраховано показник уніфікації; показник складності конструкції; показник уніфікації використаних процесів. Побудовано технологічну схему складання та схему складального складу.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вимірювання параметрів
[Електронний ресурс]. URL: https://pidruchniki.com/80320/ekologiya/vimiryuvannya_parametriv_vggru
2. Анемометри [Електронний ресурс]. URL: <http://sfera.com.ua/prylady-laboratorni/anemometry>
3. L. Kristensen. The Perennial Cup Anemometer. Denmark. - Riso National Laboratory, 1999, 75с
4. Santiago Pindado, Imanol Pérez, Maite Aguado. Fourier analysis of the aerodynamic behavior of the cup anemometers. Spain. Barcelona. – 2013, 26
5. M.J. Brevoort, U.T. Joyner. Aerodynamic characteristics of anemometer cups. [Електронний ресурс] URL: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19930081442.pdf> Режим доступа: свободный.
6. J.G. Albright, G.E. Klein. The Sensitivity of Anemometer Cups. [Електронний ресурс]. URL: https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/3135/V41N02_070.pdf;jsessionid=A56B71DE397533E21719A24516671F3C?sequence=1
7. Анемометр чашковий головне про пристрій [Електронний ресурс]. URL: <https://prosto-instrumenty.ru/anemometr-chashechnyj/>.
8. АП-1М-2 Анемометр електронний [Електронний ресурс]. URL: http://pp66.ru/catalog/kontrolya/izmereniya/ap1m-2_anemometr/.
9. АСО-3 Анемометр крильчастий [Електронний ресурс]. URL: <https://izm.by/p2995318-aso-anemometr-krylchatyj.html>.
10. Анемометр Skywatch Xplorer 1 [Електронний ресурс]. URL: <https://bt.rozetka.com.ua/skywatch-xplorer-1/p307046/>.

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Trotec TA300 професійний теплової анемометр [Електронний ресурс].URL:<https://pragmatic.com.ua/trotec-ta300-professionalnyy-teplovoy-anemometr.html#PhotoSwipe1560558016501>.

12. PCE-423 професійний теплової анемометр [Електронний ресурс].URL:
<https://pragmatic.com.ua/pce-423#PhotoSwipe1560558456289>.

13. Типи анемометрів [Електронний ресурс].URL:
<https://simvolt.ua/anemometr-pribor-dlya-opredeleniya-skorosti-i-napravleniya-dvizheniya-potoka.html>.

14. Ультразвуковий датчик швидкості вітру Rika RK120-02 [Електронний ресурс].URL: <https://russian.alibaba.com/product-detail/rika-rk120-02-ultrasonic-wind-speed-direction-sensor-ultrasonic-anemometer-62126450412.html?spm=a2700.8699010.normalList.4.7f7a6facBUrpTF&s=p>.

15. Обертальний момент. Потужність і крутний момент. [Електронний ресурс].URL:<https://electric-guide.com/the-torque-moment-is-the-formula-power-and-torque-of-the-motor.html>.

16. Рух повітря та методи вимірювання його параметрів. [Електронний ресурс].URL:https://lubbook.org/book_570_glava_4_Tema%C2%A04.%C2%A0Rukh_pov%D1%96tr.html.

17. The Working of the Cup Anemometer [Електронний ресурс].URL:http://www.windsensor.com/application/files/8814/2694/4640/The_Working_of_the_Cup_Anemometer_20140619.pdf

					ДП ПІ5105.000.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ