

Вимірювання швидкості повітряного потоку

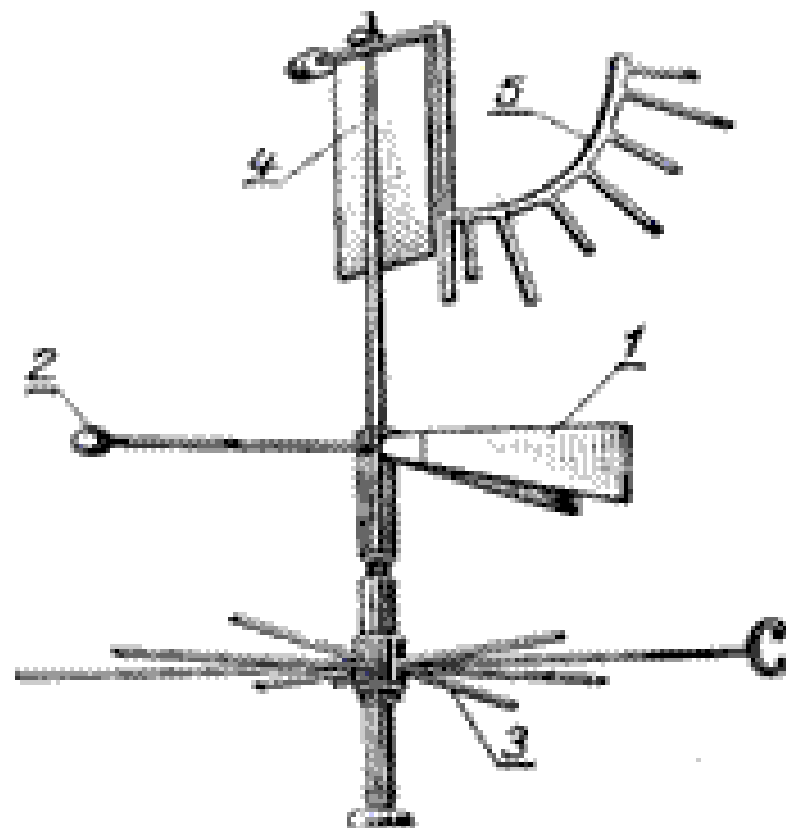


Флюгер



Вітровказ

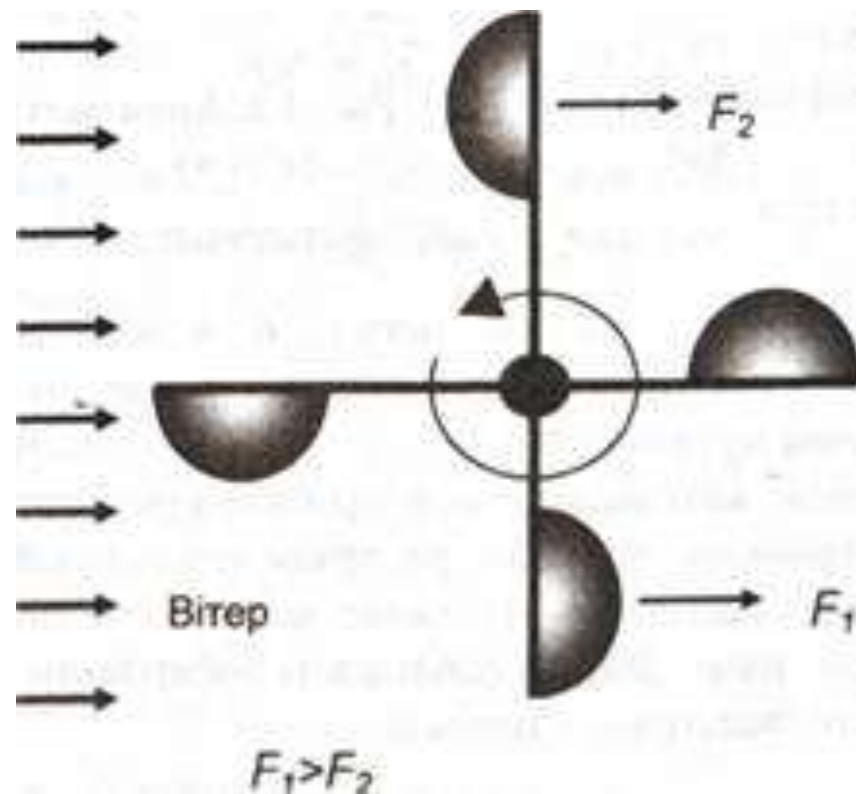




Маш. 7.6. Флюгер Виньда:

- 1 – флюгарка;**
- 2 – противовеса флюгарки;**
- 3 – муфта; 4 – доска;**
- 5 – лопатка**

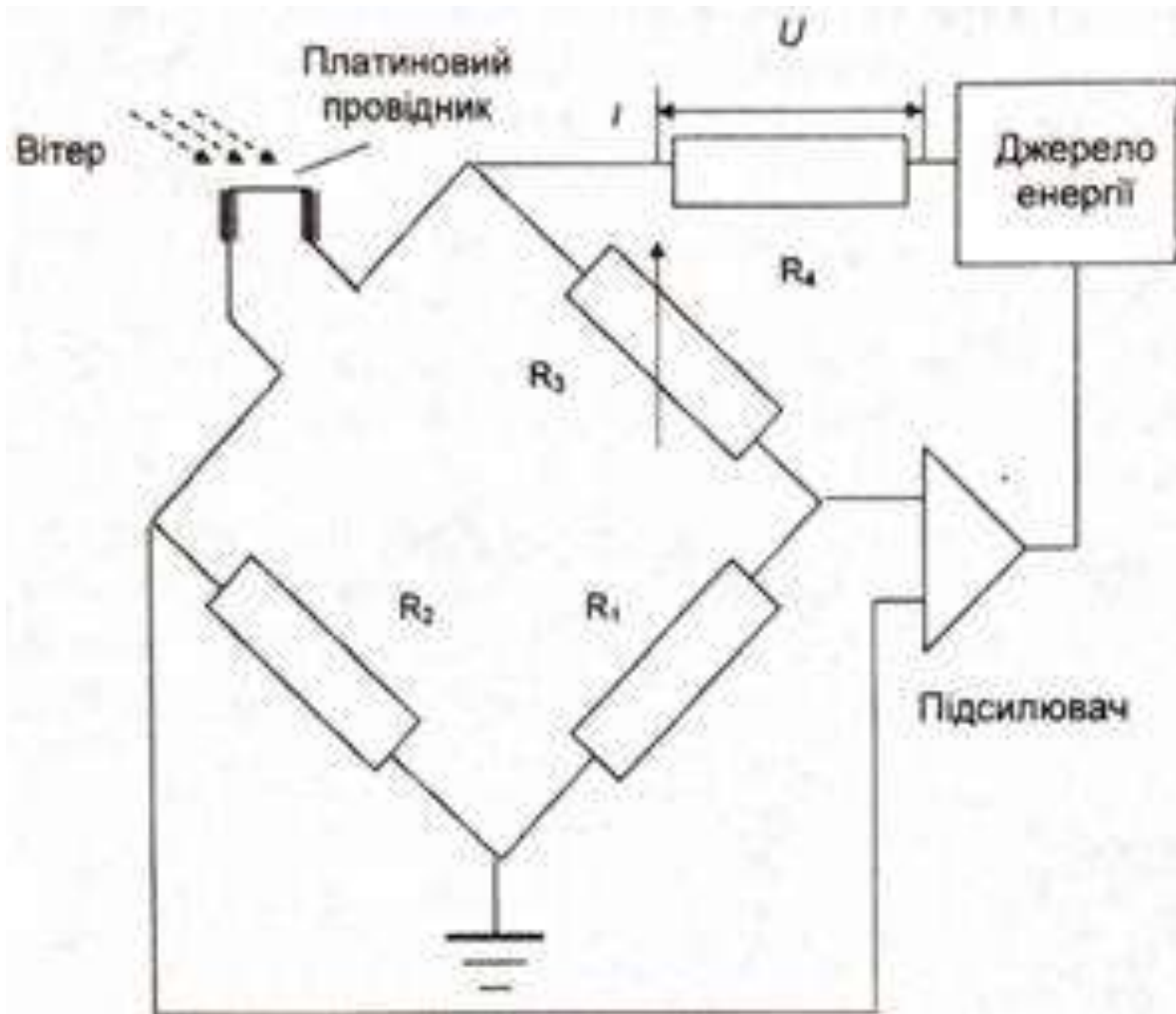
Анемометр чашкового типа



Анемометр пропелерного типа



Термоанемометр



Ультразвуковий анемометр



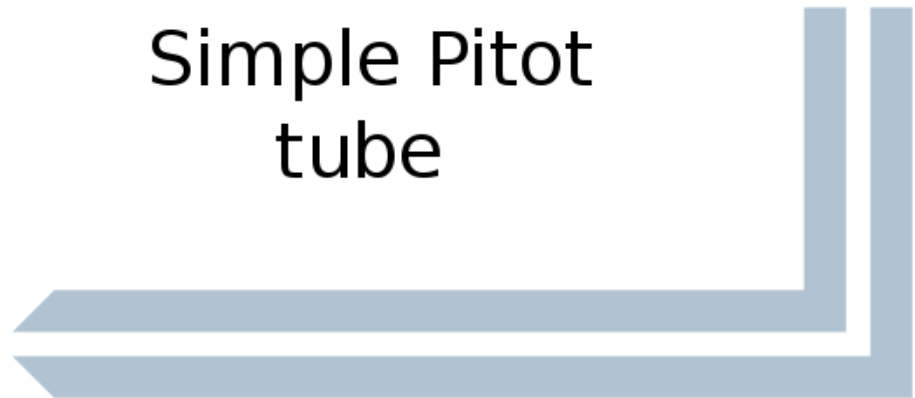
Принцип дії заснований на вимірюванні швидкості звуку, яка змінюється в залежності від орієнтації вектора руху повітря (напрямку вітру) щодо шляху поширення звуку.

Трубка Піто

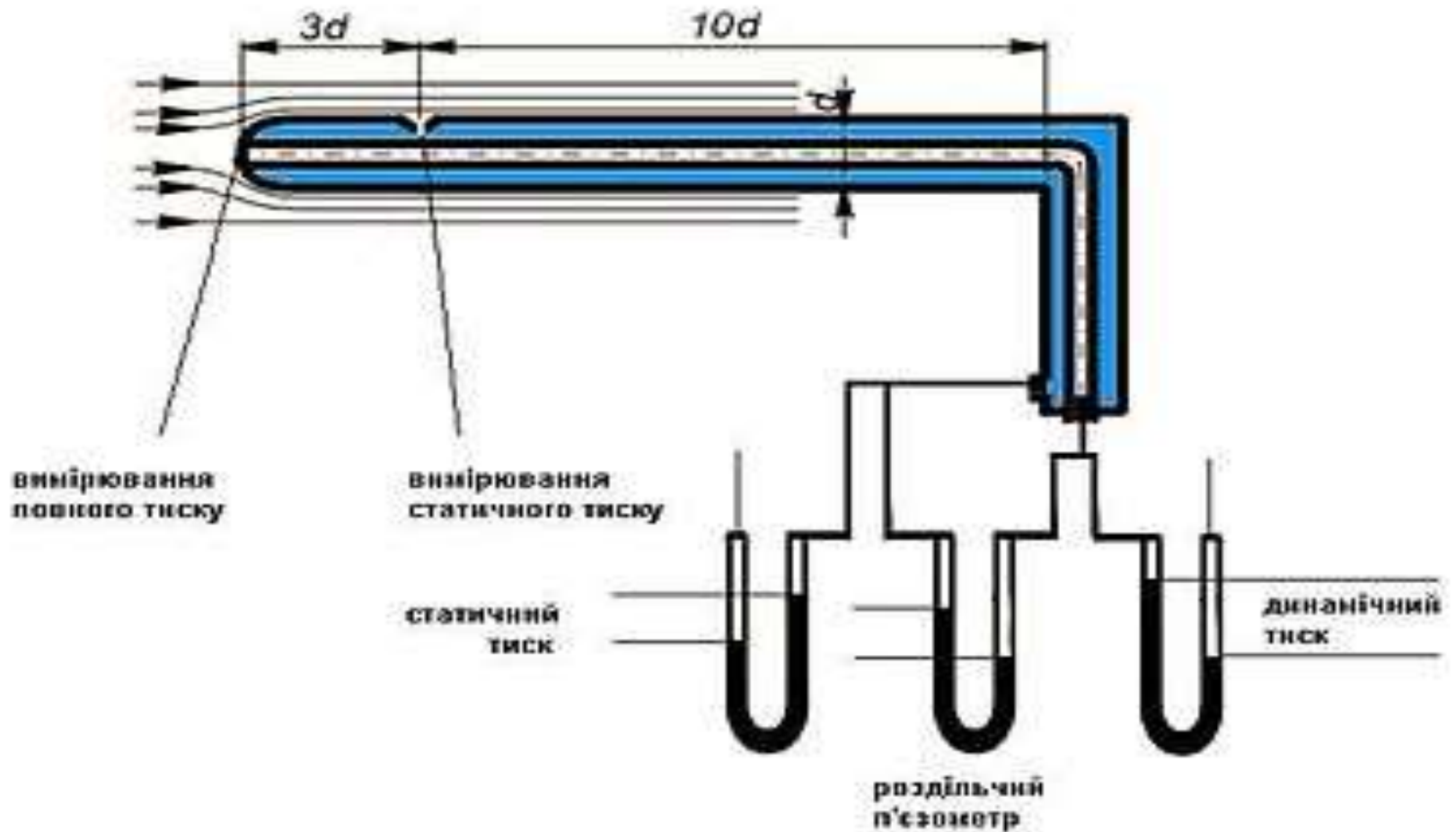
Прибор для измерения полного напора текущей жидкости (суспензии) или газа.



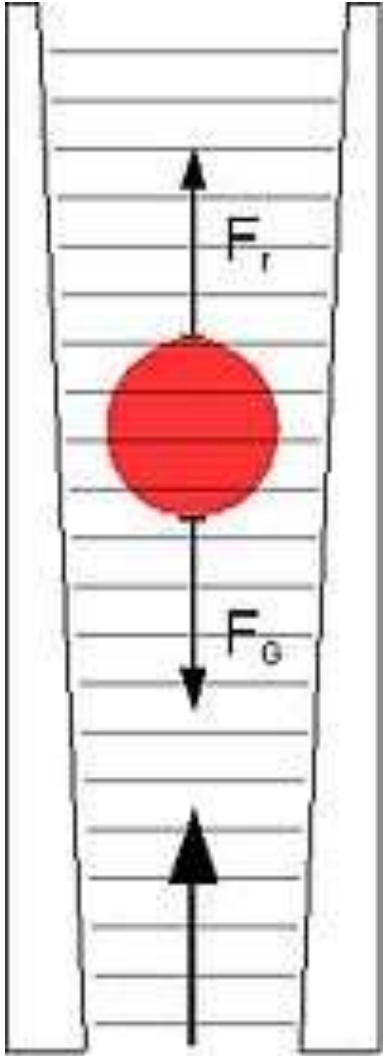
Simple Pitot
tube



Трубка Прандаля



Ротометр



В основу його дії покладене врівноваження поплавка, який поміщено в конічну трубу, динамічним напором струменя.



- **Анеморумбометр М – 47** призначений для дистанційного вимірювання швидкості і напрямку вітру на відстані від нього до 100 м.
- **Анеморумбометр М-63М –1** – для дистанційного вимірювання миттєвої, максимальної і середньої швидкості та напрямку вітру в стаціонарних умовах. Принцип дії цих приладів полягає у використанні залежностей між швидкістю вітру і частотою обертання вертушки та між напрямком вітру і вільно орієнтованою флюгаркою датчика вітру. Швидкість і напрямок вітру перетворюються в електричні сигнали, які відлічують візуально за показами вимірювального пульта.

- **Анеморумбограф М-63 МР** призначений для вимірювання і реєстрації середньої, миттєвої і максимальної швидкостей та напрямку вітру. Він виконаний на базі електронного автоматичного потенціометра КСП-4 (реєструючий пристрій) та анеморумбометра М-63М-1. Принцип його роботи аналогічний принципу роботи анеморумбометра М-63М-1.



Анемометр ручной



3 ОСНОВИ ДИНАМІКИ АТМОСФЕРИ

3.1 Сили, що діють на частинку повітря при горизонтальному русі

сили тертя спря...

нього на кут $20-40^\circ$ праворуч.

Горизонтальна складова сили земного тяжіння (g_H) дорівнює нулю.

Векторне рівняння руху повітряної частинки у горизонтальній площині

$$\vec{F} = \vec{G} + \vec{K} + \vec{Z} + \vec{R}, \quad (3.5)$$

де \vec{F} – результуюча сила, яка визначає напрямок і швидкість руху.

Єдина сила, що є джерелом горизонтального руху в атмосфері – це горизонтальна складова сили баричного градієнта, яка визначається співвідношенням

$$G = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial n} \quad (3.1)$$

де ρ – густина повітря, $G_n = -\partial P / \partial n$ – горизонтальний баричний градієнт.

Частинка повітря під впливом цієї сили рухається у напрямку сили у бік низького тиску. Як тільки виникає рух повітря, водночас починає діяти сила Коріоліса (K) – відхиляюча сила обертання Землі навколо земної осі. У північній півкулі вона завжди спрямована перпендикулярно до вектора швидкості праворуч від нього, а в південній – навпаки, ліворуч. Горизонтальна складова сили Коріоліса розраховується за формулою:

$$K = 2c\omega \sin \varphi \quad (3.2)$$

де ω – кутова швидкість обертання Землі ($\omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$),
 c – горизонтальна складова швидкості руху повітря, тобто швидкість вітру,
 φ – широта місця.

Якщо траєкторією руху частинки є крива лінія, то на частинку діє ще і відцентрова сила Z

$$Z = c^2/r, \quad (3.3)$$

де r – радіус кривизни траєкторії руху частинки повітря.

Якщо рух здійснюється у шарі тертя (граничному шарі), то горизонтальна складова сили тертя умовно може бути представлена як результуюча сил “зовнішнього тертя” між повітрям, що рухається, і земною поверхнею і “внутрішнього тертя”, пов’язаного з молекулярною в’язкістю і турбулентним перемішуванням, у вигляді

$$R = k \cdot c \quad \checkmark \quad (3.4)$$

де k – коефіцієнт зовнішнього тертя.

сили тертя спря...

нього на кут $20-40^\circ$ праворуч.

Горизонтальна складова сили земного тяжіння (g_r) дорівнює нулю.

Векторне рівняння руху повітряної частинки у горизонтальній площині

$$\vec{F} = \vec{G} + \vec{K} + \vec{Z} + \vec{R}, \quad (3.5)$$

де \vec{F} – результуюча сила, яка визначає напрямок і швидкість руху.

3.2 Рух повітря у вільній атмосфері

Вільна атмосфера – це шар атмосфери, де сили тертя дуже малі порівняно з іншими діючими силами, тобто вільна атмосфера розташована вище граничного шару атмосфери. Векторне рівняння руху для вільної атмосфери має вигляд

$$\vec{F} = \vec{G} + \vec{K} + \vec{Z} \quad (3.6)$$

Геострофічний вітер – вітер з постійною швидкістю у вільній атмосфері у полі рівновіддалених прямолінійних ізобар.

Із рівняння (3.7) отримуємо вираз для швидкості геострофічного вітру (3.8) і розрахункову формулу (3.9)

$$c_g = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} \frac{1}{2\omega \sin \gamma} \quad (3.8)$$

$$c_g = 6,2 \frac{G_n}{\rho} \sin \varphi \quad (3.9)$$

Горизонтальний градієнт тиску змінюється з висотою, що обумовлено горизонтальним градієнтом температури.

Термічний вітер (c_t)

Термічний вітер (c_m) – це приріст геострофічного вітру при переході від рівня z_1 до рівня z_2 . Термічний вітер прямо пропорційний товщині шару атмосфери $\Delta z = (z_2 - z_1)$ і модулю горизонтального градієнта температури на вихідному рівні $\frac{\partial T_0}{\partial n}$

$$c_m = \frac{g \cdot \Delta z}{T_0} \cdot \frac{\partial T_0}{\partial n} \cdot 2 \sin \varphi \quad (3.10)$$

В північній півкулі термічний вітер має такий напрямок уздовж ізотерм, що область холоду залишається ліворуч, а область тепла праворуч.

Градiєнтний вітер (циклострофічний вітер) – це стаціонарний горизонтальний рух повітря у вільній атмосфері у полі криволінійних рівновіддалених ізобар. Векторне рівняння для градієнтного руху записується

$$\vec{G} + \vec{K} + \vec{Z} = 0. \quad (3.11)$$

$$c_{\text{Ц}} = -\omega \cdot r \cdot \sin \varphi + \sqrt{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2 \varphi + \frac{r \cdot \partial P}{\rho \cdot \partial r}}, \quad (3.12)$$

$$c_{\text{АЦ}} = \omega \cdot r \cdot \sin \varphi - \sqrt{\omega^2 \cdot r^2 \cdot \sin^2 \varphi - \frac{r \cdot \partial P}{\rho \cdot \partial r}}. \quad (3.13)$$

3.3 Рух повітря у граничному шарі

В граничному шарі атмосфери, товщина якого приблизно складає 1500 м (шар тертя), сила тертя призводить до зменшення швидкості вітру порівняно з градієнтним і відхиляє вітер від ізобар ліворуч, при цьому напрямок вітру наближається до напрямку градієнтної сили. Кут α між напрямком вітру і градієнтною силою для руху у прямолінійних ізобарах визначається із співвідношення

$$\operatorname{tg} \alpha = (2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi) / k. \quad (3.14)$$

Для визначення кута відхилення вітру від градієнта в циклоні і антициклоні при наявності тертя використовують формулу

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2 \cdot \omega \cdot \sin \varphi \pm \frac{c}{r}}{k}, \quad (3.15)$$

де k – коефіцієнт зовнішнього тертя, $[k] = \text{с}^{-1}$, знак плюс відноситься до циклону, а мінус – до антициклону.

З урахуванням тертя швидкість вітру у прямолінійних ізобарах визначається за формулою

$$c = \frac{G}{\sqrt{(2\omega \sin \varphi)^2 + k^2}}. \quad (3.16)$$



Домашнее
задание

Визначити кут відхилення вітру від градієнта на широті φ° у разі циклонічних і антициклонічних ізобар, якщо горизонтальний баричний градієнт G_n гПа/100 км, радіус кривизни траєкторії руху r км, коефіцієнт зовнішнього тертя $k = 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Від чого залежить величина кута відхилення?

Варіанти (№) вихідних даних для вправ 1 – 3

№	φ°	r	G_n	k	№	φ°	r	G_n	k
1	80	200	3,00	3	11	30	200	0,80	5
2	75	300	2,50	4	12	35	300	1,10	4
3	70	300	2,80	5	13	40	200	1,50	3
4	65	400	0,90	6	14	45	300	1,20	8
5	60	400	0,65	7	15	50	200	0,85	6
6	55	450	1,20	2	16	55	300	0,60	5
7	50	500	0,80	2	17	60	200	1,80	2
8	45	600	1,50	4	18	65	100	2,40	4
9	40	600	3,00	3	19	70	300	1,40	5
10	35	500	1,50	8	20	80	150	2,20	2

Приклад 1. Визначити швидкість градієнтного вітру в циклоні з радіусом кривизни 250 км на широті 50° . Величина баричного градієнта G_n дорівнює 2 гПа/100 км, густина повітря $\rho = 1 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язок. Використовуємо формулу для розрахунку швидкості вітру в циклоні

$$c_u = -r \cdot \omega \cdot \sin \varphi + \sqrt{r^2 \cdot \omega^2 \cdot \sin^2 \varphi + \frac{r}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial n}};$$

1. $r \cdot \omega \cdot \sin \varphi = 250 \cdot 10^3 \cdot 7,29 \cdot 10^{-3} \cdot 0,77 = 14,0 \text{ м/с};$

2. $\frac{r}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial n} = \frac{250 \cdot 10^3}{1} \cdot \frac{2 \cdot 10^2}{100 \cdot 10^3} = 500 \text{ м}^2/\text{с}^2;$

3. $c_u = -14,0 + \sqrt{196 + 500} = -14,0 + 26,4 = 12,4 \text{ м/с}.$

Відповідь: швидкість вітру в циклоні для даних умов 12,4 м/с.

ЩАСЛИВО!



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!