

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

**Кафедра «Геоєкології і землеустрою»**

**ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ (В КОМ. З НІ).  
ЧАСТИНА 1.**

**Практикум  
для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»  
ОПП Геодезія та землеустрій**

Запоріжжя  
2025

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради факультету  
агротехнологій та екології  
(протокол №05 від 24 грудня 2025 р.)*

**Рецензенти:**

**Ганчук М. М.** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри геоєкології і землеустрою Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

**Петров С. Л.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри розробки родовищ корисних копалин Донецького національного технічного університету.

**«Електронні геодезичні прилади (в ком. з НП)» (Частина 1):** практикум для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» ОПП «Геодезія та землеустрій»/ Укл. Н.П. Третяк. Запоріжжя, ТДАТУ. 40 с.

Висвітлено добірку практичних завдань і вправ з дисципліни «Електронні геодезичні прилади (в ком. з НП). Частина 1», що охоплюють фазовий метод вимірювання віддалей, виключення багатозначності у фазових віддалемірах, визначення швидкості несучих коливань метеорологічним способом, функціонування вузлів електронних геодезичних приладів (цифровий фазометр), а також електронні системи вимірювання кутів. Перед кожним блоком задач наведено стислий виклад теоретичних положень і формули, необхідні для їх розв'язання, подано методику та приклади виконання. Для кожної задачі запропоновано сто варіантів вихідних даних, що забезпечує індивідуалізацію навчання та контроль засвоєння матеріалу.

Практикум призначений для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» усіх форм навчання за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» освітньо-професійної програми «Геодезія і землеустрій» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

© Таврійський державний  
агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного, 2025

## **Зміст**

Вступ	4
Фазовий метод вимірювання віддалей	4
Виключення багатозначності в фазових віддалемірах	11
Визначення метеорологічним способом швидкості несучих коливань	18
Функціонування вузлів електронних геодезичних приладів (цифровий фазометр)	24
Електронні системи вимірювання кутів	29
Література	34
Вихідні дані до задач	36

## Вступ

Практикум містить задачі з вихідними даними до дисципліни «Електронні геодезичні прилади» для студентів денної форми навчання. Задачі охоплюють основний матеріал програми дисципліни та складені у відповідності до підручника [1].

Перед задачами з кожного розділу коротко наведені елементи теорії та подані формули, які потрібно використати при розв'язанні задач. Вказівки містять також методичку та приклад розв'язання кожної задачі.

До кожної задачі є сто варіантів вихідних даних. Варіантом студента є дві останні цифри номера залікової книжки. Частина даних до кожної задачі студент вибирає за останньою цифрою номера залікової книжки, а частину – за передостанньою. Для задач 5 розділу вихідні дані вибираються за відповідними формулами.

### Теорія до розділу №1: «Фазовий метод вимірювання віддалей»

Більш детальну теорію фазового методу можна знайти в книзі [1] підрозділ 1.1., стор. 11 – 14, та [2] розділ 1.1.

Довжини ліній, виміряні фазовим віддалеміром, обчислюють за найбільш зручним варіантом основної формули фазового методу:

$$S = \frac{\varphi_n - \varphi_e}{2\pi} \cdot \frac{v}{2f} = (N + \delta) \frac{v}{2f} = (N + \delta) \frac{\lambda}{2} = N \frac{\lambda}{2} + l. \quad (1.1)$$

Тут  $S$  – довжина лінії в метрах,  $\varphi_n - \varphi_e$  – різниця фаз в радіанах,  $\pi = 3,14$  радіан,  $\frac{\varphi_n - \varphi_e}{2\pi}$  – різниця фаз в періодах,  $v$  – швидкість

електромагнітних хвиль в метрах за секунду, (в деяких задачах можна прийняти  $v = 300\,000\,000$  м/с),  $f$  – вимірювальна частота в герцах,  $N$  – кількість цілих періодів, що міститься в різниці фаз,  $\delta$  – фазовий домір в періодах (він не може бути меншим від 0 та більшим від 1, тобто  $0 \leq \delta < 1$ ),  $\frac{\lambda}{2} = \frac{v/2}{f}$  – половина довжини хвилі вимірювальної

частоти в метрах,  $l = \delta \frac{\lambda}{2}$  – лінійний домір в метрах (він не може бути меншим ніж 0 та більшим ніж  $\frac{\lambda}{2}$ , тобто  $0 \leq l < \frac{\lambda}{2}$ ).

Під час вимірювання ліній фазові доміри отримуємо не в періодах, а в поділках шкали фазометра, тобто зчитуємо показ шкали

фазометра  $a$ . Вся шкала фазометра відповідає фазовому доміру, рівному одному періоду. Тому фазовий домір в періодах, що відповідає показу  $a$ , обчислюємо за формулою

$$\delta = \frac{a}{A_{\text{шк}}} = \frac{a^{\circ}}{360^{\circ}} = \frac{a^g}{400^g}, \quad (1.2)$$

тут  $A_{\text{шк}}$  – кількість поділок на всій шкалі фазометра;  $a$ ,  $a^{\circ}$ ,  $a^g$  – показ фазометра відповідно в поділках шкали, градусах та градах.

На одній вимірювальній частоті можна однозначно виміряти тільки такі лінії, довжина яких є меншою від половини довжини хвилі вимірювальної частоти

$$S_{\text{одн}} \leq \lambda/2. \quad (1.3).$$

На довгих лініях виникає багатозначність, тобто різниця фаз містить в собі певну кількість  $N$  цілих періодів і дробову частину періоду, яку названо фазовим доміром та позначено  $\delta$ .

Фазометр вимірює фазовий домір з середньою квадратичною помилкою (СКП)  $m_{\delta}$ . Це є причиною появи помилки в довжині лінії, обчисленій за (1.1). СКП довжини лінії, викликану СКП фазового доміру, визначають за формулою

$$M = m_{\delta} \frac{\lambda}{2} = m_{\delta} \frac{v}{2f}. \quad (1.4)$$

Ми знаємо звичайно СКП показу фазометра в поділках його шкали, тобто  $m_a$ . Від СКП показу фазометра до СКП фазового доміру переходимо за одним із варіантів формули

$$m_{\delta} = \frac{m_a}{A_{\text{шк}}} = \frac{m_a^{\circ}}{360^{\circ}} = \frac{m_a^g}{400^g}. \quad (1.5)$$

## УВАГА!

**Для рішення задач з геодезичних приладів необхідно у формули підставляти значення величин в таких одиницях:**

- всі лінійні величини необхідно виразити в метрах,
- фазовий домір - в періодах,
- час – в секундах,
- швидкість – в метрах за секунду,
- частоту – в герцах.

У всіх задачах цього розділу для спрощення обчислень прийміть, що половина швидкості несучих коливань  $v/2 = 150\,000\,000$  м/с.

Якщо дані задачі є в інших одиницях, то їх слід перевести в

наведені вище. (1 кГц = 1000 Гц, а 1 МГц = 1000 000 Гц.)

### Задачі до розділу №1: «Фазовий метод вимірювання віддалей»

**Задача 1.1.** Під час вимірювання лінії  $S$  фазовим віддалеміром на вимірювальній частоті  $f$  зчитано показ фазометра  $a$ . Кількість поділок на всій шкалі фазометра  $A_{\text{шк}}$ . Із виключення багатозначності отримано ціле число періодів  $N$ . Обчисліть довжину лінії в метрах з точністю до 0,001 м.

#### Методика розв'язання:

За формулою (1.2) обчисліть фазовий домір  $\delta$  з точністю 0,0001. **Якщо показ фазометра  $\epsilon$  в кутових одиницях, то  $A_{\text{шк}}$  не дається!**

Маючи значення вимірювальної частоти, обчисліть половину довжини її хвилі:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{\left[ \frac{v}{2} \left( \frac{m}{c} \right) \right]}{f(\text{Гц})} = \frac{150000000 \left( \frac{m}{c} \right)}{f(\text{Гц})} (m). \quad (1.6)$$

За (1.1) обчисліть довжину лінії  $S$  з точністю до 0,001 м.

#### Приклад розв'язування задачі 1.1

**Дано:**

$$f = 30 \text{ МГц},$$

$$a = 213^\circ$$

$$N = 849.$$

$$S = ?$$

**Хід розв'язання**

1. Показ фазометра даний в градусах. Тому  $A_{\text{шк}}$  не дається, бо відомо, що  $A_{\text{шк}}^\circ = 360^\circ$ .

2. Фазовий домір в періодах  $\delta = \frac{213}{360} = 0,5917$ .

3. Вимірювальна частота  $f = 30$  МГц. Її потрібно перевести в герци, тобто помножити на  $10^6$ . ( $f = 30\,000\,000$  Гц)

4. Половина довжини хвилі вимірювальної частоти  $\frac{\lambda}{2} = \frac{150\,000\,000 \left( \frac{m}{c} \right)}{30\,000\,000 \text{ Гц}} = 5,000$  м

5. Довжина лінії  $S = (849 + 0,5917) \cdot 5,000 = 4\,247,958$  м.

**Відповідь:** Довжина виміряної лінії дорівнює 4 247,958 м.

**Задача 1.2.** Якою є різниця фаз, фазовий домір та показ

фазометра в градах на лінії, довжина якої  $S$ , якщо вимірювальна частота має значення  $f_1$ ? Якими стануть різниця фаз і фазовий домір, коли вимірювальну частоту зменшити в  $n$  разів. Обчисліть також лінійні доміри  $l$  на обох частотах. Порівняйте отримані для обох частот значення різниці фаз та довжини ліній, які можна однозначно виміряти на обох частотах.

### Методика розв'язання:

Маючи значення вимірювальної частоти, обчисліть половину довжини хвилі за формулою (1.6). Враховуючи формулу (1.1) визначте різницю фаз в періодах :

$$(N + \delta)_1 = S / \left( \frac{\lambda_1}{2} \right). \quad (1.7)$$

Результат ділення запишіть з точністю до 0,0001. Ціла частина результату ділення – це  $N_1$ , тобто кількість цілих періодів в різниці фаз, а дробова – це фазовий домір  $\delta_1$ . Обчисліть лінійний домір  $l_1 = \delta_1 \frac{\lambda_1}{2}$ . На цій частоті однозначно можна виміряти лінії, довжини яких не перевищують половини довжини хвилі вимірювальної частоти, тобто всі лінії, які задовольняють нерівність  $S_{oo} < \frac{\lambda_1}{2}$ .

Друге значення частоти  $f_2 = f_1 / n$ . Для цієї частоти потрібно виконати такі ж обчислення. Отримані результати для кожної частоти порівняйте між собою.

### Приклад розв'язування задачі 1.2

**Дано:**

$$S = 14\,226,753 \text{ м,}$$

$$f_1 = 10 \text{ МГц,}$$

$$n = 20.$$

**Хід розв'язання**

1. Половина довжини хвилі першої ( $f_1$ )

$S = ?$

вимірювальної частоти  $\frac{\lambda_1}{2} = \frac{150\,000\,000\text{ (м/с)}}{10\,000\,000\text{ Гц}} = 15,000$

м.

2. Різниця фаз в періодах на цій частоті

$$(N + \delta)_1 = \frac{14\,226,753}{15,000} = 948,4502.$$

3. Кількість цілих періодів в різниці фаз  $N_1 = 948$ , фазовий домір в періодах  $\delta_1 = 0,4502$ .

4. Показ фазометра в градах  $a_1^g = 0,4502 \cdot 400 = 180,08^g$ . Лінійний домір на першій частоті  $l_1 = 0,4502 \cdot 15,000 = 6,753$  м. Однозначно на цій частоті можна вимірювати всі лінії, які є коротшими від 15,000 м.

5. Друга частота  $f_2 = \frac{f_1}{20} = 500\,000\text{ Гц}$ . На цій

частоті половина довжини хвилі  $\frac{\lambda_2}{2} = 300$  м.

Різниця фаз в періодах  $(N + \delta)_2 = 47,4225$ ,  $N_2 = 47$ ,  $\delta_2 = 0,4225$ ,  $a_2^g = 169,00^g$ . Лінійний домір  $l_2 = 0,4225 \cdot 300,000 = 126,75$  м. Однозначно на другій частоті можна вимірювати лінії коротші ніж 300,000 м.

**Відповідь:** При зменшенні частоти в 20 разів різниця фаз також зменшилась в двадцять разів. Зміна показу фазометра не має безпосереднього зв'язку із зменшенням частоти. На другій частоті можна вимірювати однозначно довжини лінії до 300 м, а на першій до - 15 м.

**Задача 1.3.** З якою точністю можна вимірювати довжини лінії віддалеміром, в якому вимірювальна частота має значення  $f$ , СКП вимірювання фазового доміру фазометром дорівнює  $m_a$ , а інші джерела помилок виключені? Вся шкала фазометра має  $A_{\text{шк}}$  поділок. Якою буде точність вимірювання ліній цим же віддалеміром, коли його вимірювальну частоту зменшити в  $n$  разів?

### Методика розв'язання:

Обчисліть половину довжини хвилі вимірювальної частоти в метрах за формулою (1.6). Обчисліть похибку вимірюваного значення різниці фаз в періодах за одним із варіантів формули (1.5). За формулою (1.4) обчисліть похибку в довжині лінії в метрах. Після цього переведіть її в сантиметри, або в міліметри.

### Приклад розв'язування задачі 1.3

Дано:

$$f_1 = 15 \text{ МГц},$$

$$m_a = 2,$$

$$A_{\text{шк}} = 1000,$$

$$n = 10.$$

$$M_1 = ?$$

$$M_2 = ?$$

Хід розв'язання

1. Половина довжини хвилі вимірювальної частоти

$$\frac{\lambda_1}{2} = 10,000 \text{ м.}$$

2. СКП фазового доміру в періодах

$$m_{\delta} = \frac{2}{1000} = 0,002 \text{ періоду.}$$

3. СКП довжини лінії, викликана помилкою вимірювання фазового доміру,  $M_1 = 0,002 \cdot 10,000 = 0,02 \text{ м} = 2 \text{ см.}$

4. Друга частота  $f_2 = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ МГц.}$

5. Половина довжини хвилі цієї частоти  $\frac{\lambda_2}{2} = 100,00 \text{ м.}$

6. СКП довжини лінії  $M = 0,002 \cdot 100,00 = 0,2 \text{ м} = 2 \text{ дм.}$

**Відповідь.** На першій частоті СКП довжини лінії, яка викликана помилкою фазометра, становить 2 см. Коли частоту зменшити в 10 разів, то СКП стане 2 дм, тобто зросте в 10 разів.

**Задача 1.4.** Якою повинна бути вимірювальна частота у віддалемірі, фазометр якого вимірює різницю фаз з середньою квадратичною помилкою  $m_a$ , щоб ця помилка призводила до СКП вимірюваних віддалеміром довжин ліній не більшої ніж  $M$ ? Вся шкала фазометра має  $A_{\text{шк}}$  поділок.

### Методика розв'язання:

Обчисліть похибку фазового доміру в періодах за одним із

варіантів формули (1.5). Переведіть задану похибку вимірної лінії  $M$  в метри. Виходячи з формули (1.4), обчисліть значення половини довжини хвилі вимірювальної частоти, яку отримаємо в метрах:

$$\frac{\lambda}{2} = \frac{M}{m_{\delta}}, \quad (1.8)$$

За значенням половини довжини хвилі знайдіть вимірювальну частоту:

$$f = \frac{v/\lambda}{2}. \quad (1.9)$$

З обчислень отримаємо частоту в Гц. Переведіть її в МГц, або в кГц залежно від отриманого значення частоти.

### Приклад розв'язування задачі 1.4

Дано:	Хід розв'язання
$m_a = 0,1^\circ$ , $M = 5 \text{ мм.}$	1. СКП вимірювання фазового доміру дається в градусах, тому $A_{\text{ук}} = 360^\circ$ . Помилка вимірювання
$f = ?$	фазового доміру в періодах $m_{\delta} = \frac{m_a}{360} = 0,000278$ .
	2. Половина довжини хвилі вимірювальної частоти $\frac{\lambda}{2} = \frac{0,005}{0,000278} = 18,000 \text{ м.}$
	3. Вимірювальна частота $f = \frac{150\,000\,000}{18,000} = 8\,333\,333,33 \text{ Гц} \cong \cong 8,333 \text{ МГц.}$

**Відповідь.** Для того, щоб віддалемір, фазометр якого вимірює фазовий домір з СКП рівною  $0,1^\circ$ , вимірював довжини лінії з СКП рівною 5 мм, його вимірювальна частота повинна бути не меншою ніж 8,333 МГц.

### Теорія до розділу №2: «Виключення багатозначності в фазових віддалемірах»

Більш детальну теорію виключення багатозначності в фазових віддалемірах можна знайти в книзі [1] *підрозділ 1.2., стор. 17 – 23, [2] розділи 2 і 3).*

## 2.1. Одноступеневий спосіб виключення багатозначності

Цей спосіб виключення багатозначності, тобто визначення кількості  $N$  цілих періодів в значенні різниці фаз при вимірюваннях ліній, застосовують у віддалемірах, в яких вимірювальна частота змінюється плавно. Це дозволяє, змінюючи вимірювальну частоту, встановлювати будь-які значення фазових домірів. Найчастіше у віддалемірах встановлюють фазові доміри рівні нулю, тобто  $\delta = 0$ . Це суттєво спрощує обчислення в процесі виключення багатозначності.

Процес вимірювань лінії такими віддалемірами зводиться до знаходження у всьому діапазоні зміни частоти тих частот, на яких фазові доміри є рівними нулю, і нумерування їх. Далше вибирають по одній-дві частоти біля кінців діапазону, встановлюють кожен з вибраних, змінюючи її в невеликих межах, точно виставляють на них фазовий домір рівний нулю, після чого вимірюють ці частоти. В сучасних віддалемірах цей процес автоматизований.

Розглянемо процес виключення багатозначності, який застосовують в сучасних автоматизованих світловіддалемірах. Загальна формула для виключення багатозначності при встановленні  $\delta = 0$  має вигляд

$$N_i = n_{ki} \frac{f_i}{f_k - f_i}. \quad (2.1)$$

В ній  $f_i$  та  $f_k$  - виміряні частоти,  $i$  та  $k$  - надані їм порядкові номери,  $n_{ki} = k - i$  - різниця порядкових номерів виміряних частот. Введено позначення:

$$\frac{f_k - f_i}{n_{ki}} = \delta f. \quad (2.2)$$

Величина  $\delta f$  - це така зміна вимірювальної частоти, яка на лінії, яку вимірюємо, змінює різницю фаз на один період. Її обчислюють за результатами описаних вище вимірювань. Враховуючи (2.2) формулу (2.1) записують так:

$$N_{i(k)} = \frac{f_i(k)}{\delta f}. \quad (2.3)$$

За цією формулою можна обчислити  $N$  для будь-якої частоти, на якій фазовий домір є рівним нулю.

Обчислені значення кількості періодів є змішаними числами, а точними значеннями - цілі числа. Тому для отримання точних значень  $N$  їх обчислені значення потрібно заокруглити до найближчого цілого.

За абсолютними значеннями відхилень від цілого обчислених значень  $N$  оцінюють якість проведених вимірювань. При абсолютному значенні відхилення від найближчого цілого, меншому від 0,2, якість висока, коли воно є більшим від 0,2 та меншим від 0,35 – якість задовільна. При більших відхиленнях вимірювання бракують.

Точність визначення величина  $\delta f$  залежить від точності вимірюваних частот  $f_i$  і  $f_k$ , а також від різниці порядкових номерів цих частот  $n_{ki}$ . Із збільшенням різниці порядкових номерів частот зростає точність величини  $\delta f$ . Тому частоти вимірюють близькі до кінців діапазону.

Якщо в (1.1) підставити  $\delta = 0$  та (2.3), то отримаємо

$$S = N_i \cdot \frac{v}{2f_i} = \frac{f_i}{\delta f} \cdot \frac{v}{2f_i} = \frac{v}{2 \cdot \delta f}. \quad (2.4)$$

Отримана формула свідчить, що половина довжина хвилі частоти  $\delta f$  дорівнює довжині лінії, яку вимірюємо. Тому на кожній лінії величина  $\delta f$  є іншою.

### **Задачі до розділу № 2.1: «Одноступеневий спосіб виключення багатозначності»**

**Задача 2.1** Лінію вимірювали віддалеміром з плавною зміною частоти. Змінюючи вимірювальну частоту від початку до кінця діапазону, реєстрували частоти, на яких фазовий домір  $\delta = 0$ , і нумерували їх. Потім вибрали одну частоту на початку діапазону, а другу – в його кінці. Змінюючи в невеликих межах кожен з вибраних частот, встановили точно фазовий домір  $\delta = 0$  і після цього частоти виміряли. Порядкові номери частот  $i$  та  $k$ , а також їх виміряні значення  $f_i$  і  $f_k$  приведені в даних до задачі. Виключіть багатозначність для цих двох частот та обчисліть довжину лінії. При обчисленнях прийміть  $v/2 = 149\,850\,781$  м/с.

**Увага!** При обчисленні вимірюваних довжин ліній потрібно використовувати точне значення швидкості несучих коливань, яке залежить від частоти несучих коливань та метеорологічних параметрів в час вимірювань.

## Методика розв'язання:

Обчисліть різницю порядкових номерів частот та різницю частот  $f_i$  і  $f_k$ .

Обчисліть за формулою (2.2) значення величини  $\delta f$  з точністю до 0,1 Гц.

Виключіть багатозначність для обох частот, тобто обчисліть за формулою (2.3) кількість цілих періодів на  $i$ -й і  $k$ -й частотах з точністю до 0,01.

За відхиленнями від цілого обчислених значень кількості періодів оцініть якість вимірювань.

Точне значення кількості періодів на обох частотах  $N_i$  та  $N_k$  отримують, заокругливши до найближчого цілого їх значення, отримані в попередньому пункті.

Довжину лінії обчисліть за формулою (2.4) два рази з точністю до 0,001 м, використовуючи обидві частоти. Кінцевим значенням довжини лінії є середнє з обчислених значень довжини лінії.

## Приклад розв'язування задачі 2.1

Дано:

$$f_i = 10\,291,777 \text{ кГц},$$

$$f_k = 11\,706,218 \text{ кГц},$$

$$i = 2,$$

$$k = 60.$$

---

$$S = ?$$

Хід розв'язання

1. Різниця порядкових номерів  $n_{ik} = 60 - 2 = 58$ .

2. Величина

$$\delta f = \frac{11\,706,218 - 10\,291,777}{58} = 24,3869 \text{ кГц}.$$

3. На частоті  $f_i$  кількість цілих періодів в різниці фаз

$$N_i = \frac{10\,291,777}{24,3869} = 422,02,$$

4. На частоті  $N_k = \frac{11\,706,218}{24,3869} = 480,02$ .

5. Абсолютне значення відхилення від найближчого цілого обчислених значень кількості періодів становить 0,02. Результати вимірювань є якісними.

6. Точне значення кількості періодів  $N_i = 422$  і  $N_k = 480$ .

7. Довжина лінії, обчислена за значенням

$$i\text{-ї частоти } S = 422 \frac{149\,850\,781}{10\,291,777 \cdot 10^3} = 6\,144,423 \text{ м}$$

та

$$k\text{-ї частоти } S = 480 \frac{149\,850\,781}{11\,706,218 \cdot 10^3} = 6\,144,459 \text{ м}$$

8. Середнє  $S = 6\,144,441 \text{ м}$ .

**Відповідь.** Кількість цілих періодів в різниці фаз на частоті  $f_i$  становить 422, а на частоті  $f_k$  – 480. Вимірювана лінія має довжину 6 144,441 м. Якість вимірювань висока.

**Задача 2.2.** Обчисліть значення величини  $\delta f$  для ліній завдовжки  $S_1$  і  $S_2$ . Порівняйте їх між собою. Прийміть  $v/2 = 149\,851,265 \text{ км/с}$ .

**Методика розв'язання:**

За даними довжинами ліній та швидкістю на підставі формули 2.4. обчисліть величину  $\delta f$  для обох ліній:

$$\delta f_s = \frac{v/2}{S_s}. \quad (2.5)$$

Тут  $s$  – індекс лінії. Порівняйте довжини ліній між собою та обчислені за ними значення величин  $\delta f$ .

**Приклад розв'язування задачі 2.2**

**Дано:**

$$S_1 = 18\,456,245 \text{ м,}$$

$$S_2 = 9\,228,122 \text{ м.}$$

$$\delta f_1 = ?$$

$$\delta f_2 = ?$$

**Хід розв'язання**

1. На лінії  $S_1$  величина  $\delta f_1 = \frac{149\,851\,265}{18\,456,245} =$

8 119,272 Гц.

2. На лінії  $S_2$  величина

$$\delta f_2 = \frac{149\,851\,265}{9\,228,122} = 16\,238,544 \text{ Гц.}$$

**Відповідь.** Перша лінія є в два рази довшою від другої, а величина  $\delta f$  на першій лінії є в два рази меншою ніж на другій лінії.

## 2.2. Багатоступеневий спосіб виключення неоднозначності

Багатоступеневий спосіб застосовують у віддалемірах, які працюють на декількох вимірювальних частотах. Першу вимірювальну частоту вважають основною і для неї виключають багатозначність. Інші частоти – додаткові. На всіх частотах вимірюють фазовий домір. Крім цього для виключення багатозначності потрібно мати наближене значення довжини лінії  $S_{набл}$ . Багатозначність для першої (основної) вимірювальної частоти, коли у віддалемірі є чотири вимірювальні частоти, виключають за такими **загальними** формулами:

$$N_1 = \frac{f_1}{f_4} a + \frac{f_1}{f_3} b + \frac{f_1}{f_2} c + d, \quad d = \frac{f_1}{f_2} \delta_2 - \delta_1, \quad c = \frac{f_2}{f_3} \delta_3 - \delta_2, \\ b = \frac{f_3}{f_4} \delta_4 - \delta_3, \quad a = \frac{S_{наближенекм}}{\frac{v}{2f_4}} - \delta_4. \quad (2.6)$$

Коли у віддалемірі є три вимірювальні частоти, то **загальні** формули мають вигляд:

$$N_1 = \frac{f_1}{f_3} a + \frac{f_1}{f_2} b + c, \quad c = \frac{f_1}{f_2} \delta_2 - \delta_1, \\ b = \frac{f_2}{f_3} \delta_3 - \delta_2, \quad a = \frac{S_{наближенекм}}{\frac{v}{2f_3}} - \delta. \quad (2.7)$$

**Обчислені значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$ ,  $c$  та  $d$  є змішаними числами. Точне значення цих коефіцієнтів має бути цілим числом. Тому для отримання точних значень коефіцієнтів потрібно їх заокруглити до найближчого цілого.** За абсолютними значеннями відхилень обчислених коефіцієнтів від цілого оцінюють якість вимірювань так само, як в одноступеневому способі.

Перед використанням віддалеміра за записаними в його паспорті значеннями вимірювальних частот отримують **робочі** формули, підставляючи в загальні формули значення вимірювальних частот даного віддалеміра. Для визначення коефіцієнта  $a$  обчислюють половину довжини хвилі найменшої вимірювальної частоти, використовуючи наближене значення половини швидкості  $\frac{v}{2} = 150\,000$  км/с. Приклад робочих формул є в задачі 2.3.

Наявні у віддалемірі частоти дають змогу однозначно визначити довжини ліній, не більші від половина довжини хвилі найменшої вимірювальної частоти (тобто **третьої, або четвертої додаткової частоти**)

**Посереднє визначення фазових домірів.** В деяких віддалемірах замість потрібних додаткових вимірювальних частот  $f_2$ ,  $f_3$  та  $f_4$

генерують допоміжні частоти  $f'_2$ ,  $f'_3$  та  $f'_4$ , які є близькими до основної (першої) частоти. Фазові доміри вимірюють на основній і допоміжних частотах. Фазові доміри на додаткових вимірювальних частотах, які потрібні для виключення багатозначності, визначають посередньо, тобто обчислюють їх за результатами вимірювання фазових домірів на основній та допоміжних частотах.

Значення допоміжних частот  $f'_i$  визначають за однією із формул:

$$f'_i = f_1 - f_i, \text{ або } f'_i = f_1 + f_i, \quad (2.8)$$

тобто вони можуть бути меншими, або більшими від основної частоти. Тут  $i = 2, 3, 4$  – номери додаткових та допоміжних частот.

При обчисленні фазових домірів на додаткових частотах дотримуються правил:

**1. Від фазового доміру, виміряного на більшій частоті, віднімаємо фазовий домір, виміряний на меншій частоті.**

**2. Фазовий домір не буває від'ємним.**

На підставі цих правил отримані такі формули для обчислення фазових домірів на додаткових частотах. Коли допоміжна частота є меншою від першої частоти, тобто  $f'_3 < f_1$ , то фазовий домір на додатковій частоті  $f_3$  обчислюють за формулою

$$\delta_i = \delta_1 - \delta'_i + r, \quad (2.9)$$

а коли допоміжна частота є більшою від першої частоти, тобто  $f'_3 > f_1$  то

$$\delta_i = \delta'_i - \delta_1 + r. \quad (2.10)$$

Величина  $r$  враховує друге правило. Коли обчислена різниця домірів  $\delta_1 - \delta'_i$  або  $\delta'_i - \delta_1$  є додатною, то  $r = 0$ , коли ж вона від'ємна, то  $r = 1$ .

При вимірюваннях ліній отримують не фазові доміри, а покази фазометрів на основній та допоміжних частотах. Користуючись вище наведеними правилами можна обчислити покази фазометра, які були б на додаткових частотах. Коли допоміжна частота є меншою від першої частоти, то показ фазометра на додатковій частоті  $f_i$

$$a_i = a_1 - a'_2 + R, \quad (2.9a)$$

а коли допоміжна частота є більшою від першої частоти, то

$$a_i = a'_2 - a_1 + R. \quad (2.10a)$$

Коли різниця показів фазометра в цих формулах додатна, то  $R = 0$ , а коли від'ємна, то  $R = A_{\text{ук}}$ .

## **Задачі до розділу №2.2: «Багатоступеневий спосіб виключення багатозначності»**

**Задача 2.3.** У віддалемірі є такі три вимірювальні частоти, при яких робочі формули для виключення багатозначності мають вигляд:

$$N_1 = 100a + 10b + c, \quad c = 10\delta_2 - \delta_1, \quad b = 10\delta_3 - \delta_2, \quad a = \frac{S_{(км)}}{1_{(км)}} - \delta_3.$$

За отриманими з вимірювань показами фазометра  $a_i$ , значенням  $A_{шк}$  та наближеним значенням довжини вимірюної лінії виключіть багатозначність для першої частоти та оцініть якість проведених вимірювань. Напишіть відповідь.

### Методика розв'язання:

Обчисліть фазові доміри в періодах за (1.2) для всіх вимірювальних частот.

За робочими формулами, наведеними в задачі, обчисліть значення коефіцієнтів  $a$ ,  $b$  і  $c$  з точністю до 0,01.

За відхиленнями отриманих з обчислень значень коефіцієнтів від найближчих цілих оцініть якість проведених вимірювань.

Для отримання точних значень коефіцієнтів заокругліть їх обчислені значення до найближчого цілого.

Заокруглені значення коефіцієнтів підставте в першу робочу формулу і обчисліть  $N_1$ .

**Слід пам'ятати, що  $N_1$  - це ціле число!**

### Приклад розв'язування задачі 2.3

**Дано:**

$$a_1^g = 356^g,$$

$$a_2^g = 160^g,$$

$$a_3^g = 3336^g,$$

$$S_{(км)} = 4,9 \text{ км.}$$

---


$$N_1 = ?$$

**Хід розв'язання**

1. Покази фазометра дані в градах, отже  $A_{шк} = 400$ .

2. Фазові доміри в періодах:

$$\delta_1 = \frac{356}{400} = 0,89; \quad \delta_2 = \frac{160}{400} = 0,40; \quad \delta_3 = \frac{3336}{400} = 0,84.$$

3. Обчислені значення коефіцієнтів:

$$c = 10 \cdot 0,40 - 0,89 = 3,11,$$

$$b = 10 \cdot 0,84 - 0,42 = 7,98,$$

$$a = \frac{4,9}{1} - 0,84 = 4,06.$$

4. Відхилення від найближчого цілого коефіцієнта  $c$  складає 0,11, коефіцієнта  $b$  – 0,02 і коефіцієнта  $a$  – 0,06. Якість вимірювань є високою.

5. Точні значення коефіцієнтів  $c = 3$ ,  $b = 8$ ,  $a = 4$ .

6. Кількість цілих періодів на основній частоті

$$N_1 = 100 \cdot 4 + 10 \cdot 8 + 3 = 483.$$

**Відповідь.** На основній частоті в різниці фаз міститься 483 цілих періодів. Якість проведених вимірювань є високою.

**Задача 2.4.** У віддалемірі крім основної частоти  $f_1$  є допоміжна

частота  $f'_2$ . На кожній з цих частот отримано покази фазометра відповідно  $a_1$  і  $a'_2$ . Кількість поділок на шкалі -  $A_{\text{шк}}$ . Для якої додаткової низької частоти можна посередньо визначити фазовий домір за отриманими результатами? Обчисліть показ фазометра та фазовий домір в періодах на додатковій частоті.

### Методика розв'язання:

Враховуючи формулу (2.8), визначають, яку додаткову частоту  $f_2$  замінила допоміжна частота  $f'_2$ .

Показ фазометра на додатковій частоті обчислюють за формулою (2.9а) або (2.10а) залежно від того, чи допоміжна частота є більшою, чи меншою від основної частоти.

За формулою (1.2) обчислюють фазовий домір в періодах на додатковій частоті.

### Приклад розв'язування задачі 2.4

Дано:

$$f_1 = 15 \text{ МГц,}$$

$$f'_2 = 16,5$$

МГц,

$$a_1 = 264,3^\circ,$$

$$a'_2 = 102,8^\circ$$

---


$$f_2 = ?$$

$$a_2 = ?$$

$$\delta_2 = ?$$

#### Хід розв'язання

1. Допоміжна частота є більшою від першої частоти, тому додаткову частоту отримаємо, використовуючи другу формулу (2.8):  $f_2 = f'_2 - f_1 = 1,5 \text{ МГц}$ .

2. Враховуючи що  $f'_2 > f_1$ ,  $a'_2 > a_1$  і що в цій задачі покази фазометра дані в градусах, тому  $A_{\text{шк}} = 360^\circ$ , за (2.10а) обчислимо показ фазометра на додатковій частоті,  $a_2 = a'_2 - a_1 + 360^\circ = 228,5^\circ$ .

3. Фазовий домір в періодах на додатковій частоті

$$f_2 = 1,5 \text{ МГц становить } \delta_2 = \frac{228,5}{360} = 0,635.$$

**Відповідь.** Вимірюючи фазові доміри на частотах 15 МГц і 16,5 МГц, можна отримати фазовий домір для додаткової частоти 1,5 МГц. При наведених в задачі показах фазометра на основній та допоміжній частоті показ фазометра на додатковій частоті був би рівним 228,5°, а фазовий домір в періодах – 0,635.

### Теорія до розділу №3: «Визначення метеорологічним способом швидкості несучих коливань»

Більш детальну інформацію можна знайти в книзі [1] підрозділи 1.4. і 1.5., стор. 29 -44.

У всіх методах визначення довжин сторін необхідно знати швидкість несучих коливань в повітрі вздовж лінії підчас проведення вимірювань.

В кожному середовищі, в тому числі і в повітрі, швидкість електромагнітних коливань

$$v = \frac{c}{n}, \quad (3.1)$$

де  $c = 299\,792\,458$  м/с – швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі,  $n$  – показник заломлення в середовищі. Показник заломлення електромагнітних хвиль в повітрі  $n \cong 1$ . Він відрізняється від одиниці на 0,0002 – 0,0004. Тому замість нього зручно використовувати **індекс показника заломлення, який є відхиленням показника заломлення від одиниці в мільйонних частинах, тобто**

$$N = (n - 1) \cdot 10^6. \quad (3.2)$$

Маючи індекс, показник заломлення визначаємо за формулою

$$n = 1 + N \cdot 10^{-6}. \quad (3.3)$$

Повітря є сумішшю сухого повітря, склад якого є практично постійним, і водяної пари, маса якої в повітрі змінюється. Як встановили фізики, індекс показника заломлення у вологому повітрі є сумою індексів показника заломлення сухого повітря  $N_n$  і водяної пари  $N_a$ , яка міститься у вологому повітрі:

$$N = N_n + N_a. \quad (3.4)$$

Фізики експериментально знайшли залежність індексів показників заломлення радіохвиль та світла в сухому повітрі та у водяній парі від метеорологічних величин: температури, атмосферного тиску та парціального тиску водяної пари.

Атмосферний тиск вимірюють **барометром** в мм.рт.ст. (торах), або в гектопаскалях. Для визначення температури повітря та парціального тиску водяної пари використовують **психрометр**. Він складається з двох ртутних термометрів, закріплених в оправі. Балончик з ртуттю одного з термометрів обмотують батистом. Перед вимірюваннями його зволожують дистильованою водою з допомогою спеціальної піпетки. Цей термометр називають “мокрим”, а інший – “сухим”.

Під час вимірювань термометри психрометра обдуваються аспіратором. Показ “сухого” термометра  $t_c$  є температурою повітря. Показ “мокрого” термометра  $t_m$  є меншим від показу “сухого” термометра. Різниця показів “сухого” і “мокрого” термометрів зростає із зменшення відносної вологості повітря. За показами термометрів психрометра та показами барометра обчислюють за формулами

Шпруга парціальний тиск водяної пари, в мм рт. с., тобто складову атмосферного тиску, яку створює водяна пара

$$e = E' - \Delta e, \quad (3.5)$$

$$\Delta e = 0,000\ 662 \cdot \left(1 + \frac{t_m}{872,8}\right) \cdot P \cdot (t_c - t_m). \quad (3.6)$$

Тут  $E'$  – максимальна пружність водяної пари, яку знаходять в гігрометричних таблицях (додаток 1) за  $t_m$ ;  $\Delta e$  – дефіцит вологості;  $t_c$  і  $t_m$  – покази “сухого” і “мокрого” термометрів психрометра в °С;  $P$  – атмосферний тиск в мм.рт.ст. Дефіцит вологості і парціальний тиск обчислюють з точністю до 0,01 мм.рт.ст.

Для світла індекс показника заломлення в сухому повітрі і у водяній парі обчислюють за формулами Сірса і Баррелла. Для білого світла формули після спрощення мають вигляд:

$$N_{n(c)} = 110,8 \frac{P - e}{T}, \quad (3.7)$$

$$N_{e(c)} = 96,5 \frac{e}{T}. \quad (3.8)$$

Для радіохвиль їх визначають за формулами Фрума і Ессена:

$$N_{n(p)} = 103,49 \frac{P - e}{T}, \quad (3.9)$$

$$N_{e(p)} = \frac{86,29}{T} \left(1 + \frac{5748,0}{T}\right) e. \quad (3.10)$$

В цих формулах  $N_{n(c)}$  і  $N_{n(p)}$  – індекси показника заломлення відповідно світла і радіохвиль в сухому повітрі,  $N_{e(c)}$  і  $N_{e(p)}$  – індекси показника заломлення відповідно світла і радіохвиль у водяній парі,  $e$  – тиск водяної пари в мм рт. ст.,  $T$  – температура повітря в градусах Кельвіна:

$$T = 273,16 + t_c. \quad (3.11)$$

Точність визначення індексу показника заломлення повітря метеорологічним способом залежить від точності значень метеорологічних величин. На основі формули Сірса і Баррелла при середніх значеннях метеорологічних величин для України отримано наступну формулу середньої квадратичної похибки (СКП) індексу показника заломлення світла в повітрі:

$$m_{N(c)} = \sqrt{1,0609m_t^2 + 0,1369m_p^2 + 0,0028m_e^2}, \quad (3.12)$$

де  $m_t$ ,  $m_p$ ,  $m_e$  – середні квадратичні помилки відповідно температури в градусах, тиску та парціального тиску в міліметрах

ртутного стовпчика.

Для радіохвиль таку ж формулу отримано на основі формули Фрума і Ессена:

$$m_{N(p)} = \sqrt{1,7161m_t^2 + 0,1225m_p^2 + 31,3600m_e^2}. \quad (3.13)$$

Середня квадратична похибка показника заломлення

$$m_n = m_N \cdot 10^{-6}. \quad (3.14)$$

Середня квадратична відносна похибка швидкості

$$\frac{m_v}{v} = m_n = m_N \cdot 10^{-6}. \quad (3.15)$$

Маючи відносну похибку швидкості, можна знайти СКП швидкості

$$m_v = v \cdot m_n. \quad (3.16)$$

В останній формулі можна вважати  $v = 3 \cdot 10^8$  м/с.

### **Задачі до розділу №3: «Визначення метеорологічним способом швидкості несучих коливань»**

**Задача 3.1** За показами психрометра  $t_c$  і  $t_m$  та барометра  $P$  обчисліть:

- 1) індекси показника заломлення світла та радіохвиль в сухому повітрі і у водяній парі та порівняйте їх між собою;
- 2) показники заломлення світла та радіохвиль у вологому повітрі;
- 3) швидкість світла і радіохвиль у вологому повітрі з точністю до 1 м/с.

Порівняйте між собою значення цих величин для світла та радіохвиль.

Результати обчислень зведіть в табл. 3.1. (див. приклад задачі 3.1.), напишіть відповідь.

#### **Методика розв'язання:**

За показом сухого термометра  $t_c$  обчисліть абсолютну температуру повітря за формулою (3.11).

За показом мокрого термометра  $t_m$  знайдіть в таблиці (додаток 1) максимальну пружність водяної пари  $E'$ .

За формулою (3.5) обчисліть дефіцит вологості, а за формулою (3.6) – парціальний тиск водяної пари.

За формулами (3.7) і (3.8) обчисліть індекси показника заломлення світла в сухому повітрі і у водяній парі. Занесіть отримані значення в таблицю.

Обчисліть за формулою (3.4) індекс показника заломлення світла у вологому повітрі і за формулою (3.3) – показник заломлення. Занесіть отримані значення в таблицю.

За формулами (3.9) і (3.10) обчисліть індекси показника заломлення радіохвиль в сухому повітрі і у водяній парі. Занесіть отримані значення в таблицю.

Обчисліть за формулою (3.4) індекс показника заломлення радіохвиль у вологому повітрі і за формулою (3.3) – показник заломлення. Занесіть отримані значення в таблицю.

Порівняйте між собою отримані значення індексів показника заломлення світла і радіохвиль у сухому повітрі і у водяній парі.

Обчисліть за формулою (3.1) швидкість світла та радіохвиль у вологому повітрі, занесіть їх в таблицю. Порівняйте між собою швидкості світла і радіохвиль у вологому повітрі.

### Приклад розв'язування задачі 3.1

Дано:	Хід розв'язання
$t_c = 22,7^\circ\text{C}$ ,	1. Абсолютна температура повітря $T = 22,7 + 273,16 = 295,86^\circ$ .
$t_m = 18,5^\circ\text{C}$ ,	2. Максимальна пружність водяної пари $E' = 14,06$ мм рт. ст.
$P = 746,5$ мм.рт.ст.	3. Дефіцит вологості $\Delta e = 2,12$ мм рт. ст., парціальний тиск водяної пари $e = E' - \Delta e = 11,94$ .
$N_n = ?$	4. Індекс показника заломлення світла – в сухому повітрі $N_{n(c)} = 274,30$ ;
$N_e = ?$	– в водяній парі $N_{e(c)} = 4,59$ .
$N = ?$	5. Індекс показника заломлення світла у вологому повітрі $N_c = 278,89$ .
$n = ?$	6. Показник заломлення світла у вологому повітрі $n_c = 1,000\ 278\ 890$ .
$v = ?$	7. Швидкість світла в повітрі $v_c = \frac{299\ 792\ 458}{1,000\ 278\ 890} = 299\ 708\ 872,2$ м/с
	8. Індекс показника заломлення радіохвиль – в сухому повітрі $N_{n(p)} = 256,20$ ;
	– в водяній парі $N_{e(p)} = 83,77$ .
	9. Індекс показника заломлення радіохвиль у вологому

повітрі  $N_p = 339,98$ .

10. Показник заломлення радіохвиль у вологому повітрі  
 $n_p = 1,000\ 339\ 980$

11. Швидкість радіохвиль в повітрі

$$v_p = \frac{299\ 792\ 458}{1,000\ 339\ 980} = 299\ 690\ 569,2 \text{ м/с.}$$

**Відповідь.** Індекс показника заломлення світла в сухому повітрі є більшим від індексу радіохвиль, а у водяній парі – навпаки – індекс показника заломлення радіохвиль в багато разів більшим від індексу показника заломлення світла. Показник заломлення світла у вологому повітрі є більшим ніж радіохвиль, а швидкість – навпаки.

Остаточні результати наведемо у табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Обчислення параметрів розповсюдження світла та радіохвиль в повітрі.

Величини	Світло	Радіохвилі
$N_n$	274,30	256,20
$N_e$	4,59	83,77
$N$	278,89	339,98
$n$	1,000 278 890	1,000 339 980
$v$ , м/с	299 708 872,2	299 690 569,2

**Задача 3.2.** За даними значеннями середніх квадратичних помилок температури, тиску та парціального тиску водяної пари визначити:

1) середню квадратичну помилку показників заломлення світла та радіохвиль;

2) середню квадратичну помилку швидкості світла та радіохвиль.

Порівняйте отримані значення похибок для світла та радіохвиль.

Результати обчислень зведіть в таблицю 3.2. (див приклад, табл. 3.2.). Напишіть відповідь.

### Методика розв'язання:

Підставивши задані значення СКП метеорологічних величин у формулу (3.12), обчисліть СКП індексу показника заломлення світла у вологому повітрі і результат обчислень запишіть в таблицю.

За формулою (3.14) обчисліть СКП показника заломлення світла і запишіть його в таблицю.

За формулою (3.15) обчисліть відносну СКП швидкості світла в повітрі та запишіть її в таблицю.

За формулою (3.16) обчисліть СКП швидкості світла в повітрі та запишіть її в таблицю.

За формулою (3.13) обчисліть СКП індексу показника заломлення радіохвиль і результат занесіть в таблицю.

За формулою (3.14) обчисліть СКП показника заломлення радіохвиль і запишіть його в таблицю.

За формулою (3.15) обчисліть відносну СКП швидкості радіохвиль в повітрі та запишіть її в таблицю.

За формулою (3.16) обчисліть СКП швидкості радіохвиль в повітрі та запишіть її в таблицю.

Порівняйте одержані значення СКП швидкості для світла і радіохвиль і напишіть відповідь.

### Приклад розв'язування задачі 3.1

**Дано:**

$$m_t = 0,7^\circ$$

$$m_p = 0,8 \text{ мм рт. ст.}$$

$$m_e = 0,9 \text{ мм рт. ст.}$$

$$m_N = ?$$

$$m_n = ?$$

$$m_v/v = ?$$

$$m_v \text{ м/с} = ?$$

Таблиця 3.2

Результати обчислення СКП показника заломлення та швидкості світла та радіохвиль

Величини	Світло	Радіохвилі
$m_N$	0,78	5,13
$m_n$	$0,78 \cdot 10^{-6}$	$5,13 \cdot 10^{-6}$
$m_v/v$	1 : 1 282 000	1 : 194 932
$m_v \text{ м/с}$	234,0	1539,0

**Відповідь.** Абсолютна та відносна помилки швидкості світла є майже в шість разів меншими ніж такі ж похибки швидкості радіохвиль

### Теорія до розділу №4: «Функціонування вузлів електронних геодезичних приладів (цифровий фазометр)»

Більш детально теорію цифрового фазометра можна знайти в книзі [1] підрозділ 5.2. (стор 155 – 161), та [2] розділ 5)

Цифрові фазометри використовують у світловіддалемірах третього покоління, у віддалемірній частині сучасних електронних тахеометрів, а також у кутомірній частині тахеометрів з динамічною системою визначення кутів.

Цифровий фазометр безпосередньо визначає часовий домір  $\Delta\tau$  на частоті  $F$  опорних і сигнальних коливань. Часовий домір  $\Delta\tau$  – це дробова частина періоду коливань частоти  $F$ , яка визначається за формулою:

$$\Delta\tau = \delta \frac{1}{F}, \quad (4.1)$$

де  $\delta$  – фазовий домір в різниці фаз на вимірювальній частоті.

Часовий домір  $\Delta\tau$  визначає фазометр, шляхом підрахунку кількості  $K_{imn}$  заповнюючих імпульсів, що вміщуються в часовому домірі  $\Delta\tau$ .

Частота слідування заповнюючих імпульсів є постійною та відомою,

**період цієї частоти  $T_{зан} = \frac{1}{f_{зан}}$  служить в цифровому фазометрі**

**одиницею вимірювання часу.** Часовий домір визначається за формулою:

$$\Delta\tau = K_{imn} \cdot \frac{1}{f_{зан}} \quad (4.2)$$

Для того, щоб виміряти часовий домір, електронний ключ цифрового фазометра відкриває доступ заповнюючим імпульсам до лічильника на проміжок часу  $\Delta\tau$ . Лічильник обчислює кількість заповнюючих імпульсів, що потрапили на нього, тобто  $K_{imn}$ , і передає її в процесор, який обчислює за 4.2. проміжок часу  $\Delta\tau$ .

Часові доміри на вимірювальній частоті та низькій частоті  $F$  зв'язані між собою залежністю

$$\delta\tau = \Delta\tau \cdot \frac{F}{f} = K_{imn} \frac{F}{f_{зан}} \cdot \frac{1}{f}, \quad (4.3)$$

де  $\delta\tau$  – часовий домір на вимірювальній частоті. Маючи  $\delta\tau$ , можна обчислити лінійний домір:

$$l = \frac{v}{2} \cdot \delta\tau = K_{imn} \cdot \frac{F}{f_{зан}} \cdot \frac{v}{2f}. \quad (4.4)$$

Кожний заповнюючий імпульс відповідає в лінійному домірі лінії, яку вимірюємо, відрізка, значення якого отримаємо, підставивши в (4.4)  $K_{imn} = 1$

$$l_{imn} = \frac{F}{f_{зан}} \cdot \frac{\lambda}{2}. \quad (4.5)$$

**Величина  $l_{imn}$  є лінійною ціною одного заповнюючого імпульсу.** Знаючи її лінійний домір можна обчислити за формулою

$$l = K_{imn} \cdot l_{imn}. \quad (4.4a)$$

Формула (4.5) показує, що лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу є в стільки разів меншою від половини довжини хвилі у скільки разів частота заповнюючих імпульсів  $f_{зан}$  є більшою від частоти опорних і сигнальних коливань  $F$ .

**Увага!!! В задачах цього розділу половина швидкості несучих коливань може мати значення  $v/2 = 149\ 850$  км/с, або  $v/2 = 149\ 855$  км/с, що вказується в даних задачі.**

#### **Задачі до розділу №4: «Функціонування вузлів електронних геодезичних приладів (цифровий фазометр)»**

**Задача 4.1.** На який проміжок часу відкриється електронний ключ цифрового фазометру, якщо фазовий домір рівний  $\delta$ , а частота опорних і сигнальних коливань  $F$ .

#### **Методика розв'язання:**

Якщо фазовий домір даний в градусах, або градах, переведіть його за формулою (1.2) в періоди.

За (4.1) обчисліть часовий домір  $\Delta\tau$ . Виразіть його в мікросекундах, або в наносекундах. ( $1 \text{ мкс} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ ,  $1 \text{ нс} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ с}$ ).

#### **Приклад розв'язування задачі 4.1**

<b>Дано:</b>	<b>Хід розв'язання</b>
$a = 217,3^\circ$	1. Фазовий домір $\delta = \frac{217,3}{360} = 0,6036$ . 2. Часовий домір $\Delta\tau = 0,6036 \cdot \frac{1}{1,4985 \cdot 10^3} = 0,000\ 402\ 8 \text{ с}$ . 3. Часовий домір $\Delta\tau = 402,8 \text{ нс}$ .
$F = 1,4985 \text{ кГц}$	
$\Delta\tau = ?$	

**Відповідь.** Електронний ключ відкриється на проміжок часу рівний 402,8 нс.

**Задача 4.2.** Якою є лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу у віддалемірі з вимірювальною частотою  $f$ , частотою слідування заповнюючих імпульсів  $f_{зан}$  та частотою опорних і сигнальних коливань  $F$ ?

### Методика розв'язання:

За формулою (1.6) обчисліть половину довжини хвилі коливання вимірювальної частоти.

За формулою (4.5) обчисліть відрізок, що відповідає одному заповнюючому імпульсу.

### Приклад розв'язування задачі 4.2

Дано:

$$f = 29,97 \text{ МГц,}$$

$$f_{zan} = 14,985 \text{ МГц,}$$

$$F = 2,997 \text{ кГц.}$$

$$l_{зп} = ?$$

Хід розв'язання

1. Половина довжини хвилі вимірювальної частоти

$$\lambda / 2 = \frac{149\,850 \cdot 10^3}{29,97 \cdot 10^6} = 5,000 \text{ м.}$$

2. Лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу

$$l_{им} = \frac{2,997 \cdot 10^3}{14,985 \cdot 10^6} \cdot 5 = 0,001 \text{ м} = 1 \text{ мм.}$$

**Відповідь.** Лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу – 1 мм.

**Задача 4.3.** У віддалемірі частота вимірювальних коливань  $f$ , частота слідування заповнюючих імпульсів  $f_{zan}$ , частота опорних коливань  $F$ . З лічильника отримано кількість заповнюючих імпульсів  $K_{им}$ . Обчисліть лінійний домір. При обчисленнях прийміть  $v/2 = 149\,850 \text{ км/с}$ .

### Методика розв'язання:

Обчисліть половину довжини хвилі вимірювальної частоти, лінійну ціну одного заповнюючого імпульсу за (4.5) та за (4.4а) – лінійний домір.

### Приклад розв'язування задачі 4.3

Дано:

$$f = 14,985 \text{ МГц,}$$

$$f_{zan} = 14,985 \text{ МГц}$$

$$F = 0,74925 \text{ кГц,}$$

$$K_{им} = 14\,372.$$

Хід розв'язання

1. Половина довжини хвилі вимірювальної частоти

$$\lambda / 2 = \frac{149\,850 \cdot 10^3}{14,985 \cdot 10^6} = 10,000 \text{ м.}$$

$$\Delta\tau = ?$$

2. Лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу

$$l_{имп} = \frac{0,74925 \cdot 10^3}{14,985 \cdot 10^6} \cdot 10 = 0,0005 \text{ м.}$$

3. Лінійний домір  $l = 14\,372 \cdot 0,0005 = 7,186 \text{ м.}$

**Відповідь.** Лінійний домір становить 7,186 м.

**Задача 4.4.** Якою повинна бути частота слідування заповнюючих імпульсів  $f_{зан}$  у віддалемірі з вимірювальною частотою  $f$  та частотою опорних і сигнальних коливань  $F$ , щоб лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу була рівною  $l_{имп}$ . Обчислене значення частоти переведіть в МГц. При обчисленнях прийміть  $v/2 = 149\,850 \text{ км/с.}$

#### Методика розв'язання:

Обчисліть за формулою (1.6) половину довжини хвилі вимірювальної частоти в метрах.

Маючи значення лінійної ціни імпульсу  $l_{имп}$ , на підставі (4.5) отримаємо частоту слідування заповнюючих імпульсів:

$$f_{зан} = \frac{F}{l_{имп}} \cdot \frac{\lambda}{2}. \quad (4.6)$$

#### Приклад розв'язування задачі 4.4

**Дано:**

$$f = 14,985 \text{ МГц,}$$

$$F = 1,4985 \text{ кГц,}$$

$$l_{имп} = 2 \text{ мм.}$$

$$f_{зан} = ?$$

**Хід розв'язання**

1. Половина довжини хвилі вимірювальної частоти

$$\lambda/2 = \frac{149\,850 \cdot 10^3}{14,985 \cdot 10^6} = 10,000 \text{ м.}$$

2. Частота слідування заповнюючих імпульсів

$$f_{зан} = \frac{1,4985 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 10 = 7\,492\,500 \text{ Гц} = 7,4925 \text{ МГц.}$$

**Відповідь.** Для того щоб лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу була рівною 2 мм при заданих вимірювальній частоті та частоті опорних і сигнальних коливань, частота заповнюючих імпульсів повинна бути 7,4925 МГц.

**Задача 4.5.** Якою повинна бути вимірювальна частота у віддалемірі, в якому частота слідування заповнюючих імпульсів  $f_{зан}$  та частота опорних і сигнальних коливань  $F$ , щоб лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу була рівною  $l_{имп}$ .

**Методика розв'язання:**

На підставі формули (4.5) отримайте половину довжини хвилі вимірювальної частоти:

$$\frac{\lambda}{2} = l_{имп} \cdot \frac{f_{зан}}{F}. \quad (4.7)$$

За половиною довжини хвилі та половиною швидкості обчисліть вимірювальну частоту за формулою (1.9). Ви отримаєте її в герцах. Переведіть вимірювальну частоту в МГц.

**Приклад розв'язування задачі 4.5**

Дано:	Хід розв'язання
$f_{зан} = 14,985 \text{ МГц}$	1. Половина довжини вимірювальної частоти
$F = 2,977 \text{ кГц},$	$\lambda / 2 = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{14,985 \cdot 10^6}{2,997 \cdot 10^3} = 1,000 \text{ м.}$
$l_{имп} = 0,2 \text{ мм.}$	2. Вимірювальна частота
<hr/> $f = ?$	$f = \frac{149\ 850\ 000}{1,000} = 149\ 850\ 000 \text{ Гц} = 149,85 \text{ МГц.}$

**Відповідь.** Для того щоб при заданих частотах опорних та сигнальних коливань і заповнюючих імпульсів лінійна ціна одного заповнюючого імпульсу була рівною 0,2 мм, вимірювальна частота повинна бути рівною 149,85 МГц.

**Розділ №5: «Електронні системи вимірювання кутів»**

Більш детальну інформацію можна знайти в книзі [1] підрозділ 6.2., стор.187-189, 197 – 201.

Використовують три електронні системи вимірювання кутів: кодову, імпульсну і динамічну.

**В електронних системах кути отримують автоматично та не в традиційних кутових одиницях, а в одиницях даної системи, які названо елементи квантування кута.** Для переходу від отриманого значення кута в елементах квантування до його значення в традиційних кутових одиницях потрібно знати кутову ціну одного елемента квантування  $c$  в градусах або градах.

**В кодовій системі** на круг замість традиційної шкали в градусах чи градах наносять радіально розташовані коди напрямків. Найпростішим є двійковий код. Для отримання радіально розташованих кодів напрямків на край круга наносять систему концентричних кілець, центр яких суміщений з центром круга. Перше від центру кільце ділять на два сегменти – прозорий і непрозорий. Друге кільце ділять на чотири, тобто на  $2^2 = 4$  сегменти – прозорий, непрозорий, прозорий непрозорий. Третє кільце ділять на  $2^3 = 8$  сегментів і т.д. На останньому  $n$  – у кільці є  $2^n$  сегментів.

**В імпульсній і динамічній системах вимірювання кутів** на край круга замість градусних або градових поділок наносять растр – кільце з радіально розташованих прозорих і непрозорих або матових і дзеркальних смуг (штрихів) однакової ширини. **Два сусідні штрихи растру** (прозорий і непрозорий або матовий і дзеркальний) є **одним елементом квантування кута.**

**Кут з вершиною в центрі круга, сторони якого «вирізають» один елемент квантування, є кутовою ціною елемента квантування  $c$ ,** який є одиницею вимірювання кутів в цих системах. Щоб отримати значення кута в традиційних одиницях (градусах або градах), потрібно знати ціну елемента квантування в кутових одиницях

Ціна одного елемента квантування кута визначається кількістю  $N$  елементів квантування, нанесених на круг:

$$c = \frac{400^s}{N} = \frac{360^0}{N}. \quad (5.1)$$

В імпульсній системі разом з трубою обертається круг, а зчитувач є нерухомим. Із зчитувача отримують змінний струм, кожний період якого появляється при зміщенні круга на один елемент квантування. При заданій фазі цього струму, наприклад, рівній нулю, формують один короткочасний імпульс. Кожний імпульс, який появляється при русі труби, фіксується лічильником. Таким чином отримують загальну кількість імпульсів  $L$  після наведення труби на ціль. Знаючи кількість

імпульсів  $L$  та кутову ціну елемента квантування, обчислюють кут, на який обернувся круг теодоліта:

$$\beta = cL \quad (5.2)$$

Гранична помилка значення кута  $\beta$  не перевищує  $\Delta_{гран} = c/2$ .

На круг імпульсної системи наносять від 10 000 до 20 000 елементів квантування. Це дозволяє вимірювати кути з граничною помилкою від  $2,1'$  до  $1,1'$ , що не задовольняє вимоги геодезії. Тому в цій системі передбачені додаткові пристрої, які дозволяють отримати кути з потрібною точністю.

Основними частинами **динамічної системи** визначення кутів є круг з растром, мотор, який під час вимірювань крутить круг, два зчитувачі, один з яких є нерухомим, а другий рухається разом з трубою теодоліта, цифровий фазометр та процесор. Ця система визначає цифровим фазометром тільки дробову частину елемента квантування кута. Кількість цілих елементів квантування в куті отримують з допомогою кодової системи.

## **Задачі до розділу №5: «Електронні системи вимірювання кутів»**

### **Приклад розв'язування задачі 5.1**

#### **Задача 5.1**

На круг винесено 10000 елементів квантування. Коефіцієнт множення частоти струму, отриманого з зчитувача,  $k = 50$ . При вимірюванні кута визначено, що кількість основних імпульсів  $L = 325$ , кількість точних імпульсів -  $l_m = 43$ . Обчисліть значення кута в градусах та його граничну помилку.

#### **Методика розв'язання:**

Кутову ціну елемента квантування обчислюють за формулою

$$c = \frac{360^\circ \cdot 60}{N}$$
$$c = 2,16'$$

Значення кута обчислимо за формулою

$$\alpha = c \cdot L + \Delta c,$$
$$\alpha = 703,8576' = 11^\circ 43' 51,46''$$

Гранична помилка цього значення кута згідно з

$$\Delta_{гран} = \frac{c}{2k},$$

$$\Delta_{гран} = 1,3''$$

**Відповідь:** Вимірний кут має значення  $11^{\circ}43'51,46''$ . гранична помилка вимірювання кута цим теодолітом  $\Delta_{гран} = 1,3''$ .

## Приклад розв'язування задачі 5.2

### Задача 5.2

На круг винесено 8000 елементів квантування. Коефіцієнт множення частоти струму, отриманого з зчитувача,  $k = 50$ . При вимірюванні кута визначено, що кількість основних імпульсів  $L = 2048$ , кількість точних імпульсів -  $l_m = 17$ . Обчисліть значення кута в градах та його граничну помилку.

#### Методика розв'язання:

Кутову ціну елемента квантування обчислюють за формулою

$$c = \frac{400}{N}$$

$$c = 0,05^{\circ}$$

Значення кута обчислимо за формулою

$$\alpha = c \cdot L + \Delta c,$$

$$\alpha = 102,414^{\circ}$$

Гранична помилка цього значення кута згідно з

$$\Delta_{гран} = \frac{c}{2k},$$

$$\Delta_{гран} = 0,0005^{\circ} = 5^{\text{cc}}$$

**Відповідь:** Вимірний кут має значення  $102,414^{\circ}$ . гранична помилка вимірювання кута цим теодолітом  $\Delta_{гран} = 5^{\text{cc}}$ .

## Приклад розв'язування задачі 5.3

### Задача 5.3

Яким повинен бути коефіцієнт множення частоти у теодоліті, на круг якого нанесено 21600 елементів квантування, щоб гранична помилка визначення кута не перевищувала 4".

#### Методика розв'язання

$$c = \frac{360^0}{N}$$

Обчислимо коефіцієнт множення струму, отриманого з зчитувача

$$k \geq \frac{c}{2\Delta_{\text{гран}}} = 8$$

**Відповідь:** Для того, щоб теодолітом, на крузі якого маємо 21600 елементів квантування, визначити кути з граничною помилкою не більше від 4", потрібно встановити коефіцієнт множення частоти струму з зчитування не менше від 8.

## Приклад розв'язування задачі 5.4

### Задача 5.4

Обчислити значення кута в градах, визначеного теодолітом з динамічною системою, в якому кількість елементів квантування на крузі  $N = 2000$ , кількість обертів круга за секунду  $f_{об} = 5 \text{ об/с}$ , частота слідування заповнюючі імпульсів  $f_{зан} = 1,2 \text{ МГц}$ , коли кількість заповнюючі імпульсів становить  $k = 893$ , а з кодової системи отримано  $L = 222$ . Обчислити граничну помилку цього кута.

#### Методика розв'язання:

Підставивши визначене значення частоти, обчислимо кутову ціну одного заповнюючого імпульсу:

$$c_k = \frac{400^g \cdot N \cdot f_{об}}{N \cdot f_{зан}} = 0,0017^g = 17^{\text{cc}}$$

Ціна елемента квантування кута в градах:

$$c^g = 0,2^g.$$

Отримаємо значення кута:

$$\alpha = c \cdot L + c_k \cdot k = 178,9774^{\text{g}}.$$

Гранична помилка цього кута:

$$\Delta_{\text{гран}} = 8,5^{\text{cc}}.$$

**Відповідь:** Виміряне значення кута -  $178,9774^{\text{g}}$ . Його гранична помилка складає  $8,5^{\text{cc}}$ .

## Приклад розв'язування задачі 5.5

### Задача 5.5

Обчислити, якою повинна бути частота заповнюючи імпульсів у теодоліті з динамічною системою, в якому кількість елементів квантування на крузі  $N = 1000$ , кількість обертів круга за секунду  $f_{\text{об}} = 3$  об/с, щоб гранична помилка вимірювання дробової частини елементу квантування кута буде не більшою від  $2^{\text{cc}}$ .

### Методика розв'язання:

На підставі формули граничної помилки вимірювання добової частини елементу квантування кута визначаємо частоту заповнюючи імпульсів

$$f_{\text{зан}} \geq \frac{4000000^{\text{cc}} \cdot f}{2N \cdot \Delta_{\text{гран}}},$$

Де частота струму із зчитувачів

$$f = N \cdot f_{\text{об}}.$$

Тепер обчислимо частоту заповнюючи імпульсів

$$f_{\text{зан}} = 3000000 \text{ Гц} = 3\text{МГц}.$$

### Відповідь:

Щоб дробової частини елементу квантування кута визначались цим приладом з граничною помилкою, не більше ніж  $2^{\text{cc}}$ , частота заповнюючи імпульсів в ньому повинна бути не меншою, ніж 3МГц

## ЛІТЕРАТУРА

1. Костецька Я.М. Геодезичні прилади ч.ІІ Електронні геодезичні прилади. В-во Престиж Інформ. 2000. 324. с.

2. Методичні вказівки «Задачі з теорії фазового методу вимірювання ліній». 2005 р. 20 с.

Завдання до розділів 1 та 3. Номер варіанту дорівнює передостанній цифрі номеру залікової книжки

Варіант	Завдання до розділу №1								Завдання до розділу №3		
	Задача 1.1		Задача 1.2		Задача 1.3		Задача 1.4		Задача 3.1		Задача 3.2
	$f$ , МГц	$N$	$S$ , м	$n$	$m_a$	$A_{шк}$	$m_a$	$A_{шк}$	$t_c$ , °C	$t_m$ , °C	$m_p$ , мм.рт.ст
0	10	8209	3987,589	2	0,23	гради	0,42	800	22,1	17,9	0,2
1	15	5546	14428,089	1	0,17	градуси	0,10	гради	31,1	26,4	1,1
2	30	2635	3440,139	3	0,09	гради	0,17	градуси	26,0	24,0	0,1
3	75	6688	1883,824	4	0,20	700	0,08	гради	17,1	13,3	0,4
4	150	3240	749,733	10	0,47	1000	0,14	500	26,5	24,0	1,0
5	300	1392	10444,807	6	0,14	градуси	0,22	гради	17,0	12,5	0,3
6	10	4728	9504,269	10	0,20	гради	0,13	градуси	18,8	16,2	1,4
7	15	8311	3002,371	9	0,23	900	0,10	гради	17,0	14,5	1,2
8	30	4618	4825,742	1	0,11	градуси	0,11	гради	22,2	18,9	1,2
9	75	1615	9384,247	5	0,06	гради	0,36	600	29,8	25,0	0,9

Завдання до розділів 1 та 3. Номер варіанту дорівнює останній цифрі номеру залікової книжки

Варіант	Завдання до розділу №1						Завдання до розділу №3		
	Задача 1.1		Задача 1.2	Задача 1.3		Задача 1.4	Задача 3.1	Задача 3.2	
	$a$	$A_{шк}$	$f$ , МГц	$f$ , МГц	$n$	$M$ , мм	$P$ , мм.рт.ст	$m_i$ , °C	$m_e$ , мм.рт.ст
0	162	600	7,5	15,0	70	4	747,9	0,2	0,8
1	104	градуси	10,0	300,0	20	8	751,5	0,3	1,4
2	224	гради	15,0	150,0	20	9	750,7	0,7	0,7
3	283	гради	30,0	10,0	40	8	740,3	0,5	0,6
4	243	гради	75,0	15,0	20	3	749,3	0,2	0,7
5	193	600	15,0	75,0	80	3	757,3	0,5	1,3
6	437	900	10,0	30,0	60	9	758,4	0,8	1,0
7	464	600	150,0	15,0	60	5	747,5	0,8	1,3
8	229	градуси	300,0	10,0	50	5	753,1	0,7	1,0
9	407	900	15,0	7,5	40	5	743,3	0,9	1,5

Завдання до розділу 2. Номер варіанту дорівнює передостанній цифрі номеру залікової книжки

Варіант	Завдання до розділу №2					
	Задача 2.1		Задача 2.2	Задача 2.3	Задача 2.4	
	$i$	$f_i$ , кГц	$S_1$ , м	$S$ , км	$f_1$ , МГц	$a_1$
0	95	7688,080	4449,526	2,1	11,4	55,3
1	42	7138,015	2984,708	4,9	13,4	222,6
2	83	7563,268	4680,301	2,9	13,9	144,7
3	75	7480,118	2350,059	2,0	12,5	340,2
4	16	6868,348	3824,848	3,0	10,7	199
5	78	7511,650	4110,615	1,0	12,4	262,6
6	106	7802,364	3344,96	3,0	10,6	160,9
7	47	7189,738	3231,669	4,1	14,9	131,3
8	40	7117,548	3152,779	6,0	11,7	47,2
9	15	6857,650	4343,58	6,0	14,6	64

Завдання до розділу 2. Номер варіанту дорівнює останній цифрі номеру залікової книжки

Варіант	Завдання до розділу №2									
	Задача 2.1		Задача 2.2	Задача 2.3				Задача 2.4		
	$k$	$f_k$ , кГц	$S_2$ , м	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$A_{шк}$	$f_2''$ , МГц	$a_2''$	$A_{шк}$
0	286	9669,371	14059,428	395,3	142,6	389,9	гради	11,0	389	гради
1	238	9171,106	12893,613	395,8	193,7	373,8	гради	12,3	482	500
2	253	9326,840	11824,371	382,0	126,0	344,7	гради	13,1	43	гради
3	233	9119,965	12890,616	339,3	118,5	325,2	градуси	13,4	516	900
4	223	9016,004	14499,526	337,0	167,1	364,9	гради	9,4	594	600
5	171	8476,118	13045,449	380,4	133,2	348,0	гради	12,9	638	900
6	220	8984,976	13047,148	351,9	154,9	300,5	градуси	11,7	330	гради
7	181	8580,317	14385,43	296,3	177,6	308,4	градуси	15,1	555	700
8	274	9544,951	14863,214	750,4	244,9	791,3	800	11,2	578	700
9	233	9119,853	10597,777	712,3	248,1	714,3	800	14,7	404	500

Завдання до розділу 4. Номер варіанту дорівнює передостанній цифрі номеру залікової книжки

Варіант	Завдання до розділу №4					
	Задача 4.1	Задача 4.2	Задача 4.3		Задача 4.4	Задача 4.5
	$a$	$f$ , МГц	$f_{зан.}$ , МГц	$f$ , МГц	$f$ , МГц	$L_{имп.}$ , мм
0	39,4	74,9250	1,4985	29,9700	14,985	1,00
1	83,2	1,4985	0,0749	7,4925	7,4925	5,00
2	306,0	7,4925	1,4985	14,9850	29,97	0,20
3	335,5	7,4925	7,4925	14,9850	1,4985	0,50
4	212,6	74,9250	5,9940	29,9700	29,97	2,50
5	180,2	14,9850	14,9850	74,9250	29,97	2,00
6	75,0	7,4925	0,7493	14,9850	74,925	0,20
7	204,6	7,4925	2,9970	29,9700	149,85	0,50
8	266,8	74,9250	14,9850	74,9250	7,4925	5,00
9	91,6	74,9250	29,9700	29,9700	29,97	2,00

Завдання до розділу 4. Номер варіанту дорівнює останній цифрі номеру залікової книжки

Варіант	Завдання до розділу №4									
	Задача 4.1		Задача 4.2		Задача 4.3		Задача 4.4		Задача 4.5	
	$F$ , кГц	$A_{шк}$	$F$ , кГц	$f_{зан.}$ , МГц	$F$ , кГц	$K_{имп.}$	$F$ , кГц	$L_{имп.}$ , мм	$F$ , кГц	$f_{зан.}$ , МГц
0	0,7493	градуси	7,4925	0,7493	0,2997	19057	0,7493	2,00	0,7493	14,9850
1	7,4925	градуси	0,2997	0,1499	0,7493	11704	0,1499	1,00	1,4985	0,1499
2	2,9970	градуси	0,2997	0,2997	0,7493	10124	0,7493	0,25	0,1499	1,4985
3	0,7493	гради	1,4985	0,7493	0,2997	6070	0,2997	0,20	0,7493	1,4985
4	0,7493	гради	2,9970	1,4985	1,4985	11989	1,4985	2,50	1,4985	2,9970
5	0,7493	градуси	1,4985	0,2997	2,9970	11028	0,1499	2,00	2,9970	0,7493
6	1,4985	градуси	1,4985	0,7493	1,4985	5929	7,4925	0,20	2,9970	14,9850
7	7,4925	градуси	0,2997	0,1499	1,4985	18090	0,1499	0,50	0,2997	0,2997
8	0,7493	градуси	7,4925	0,7493	0,7493	13652	0,7493	0,25	7,4925	14,9850
9	1,4985	градуси	7,4925	0,1499	0,2997	9319	2,9970	0,25	0,1499	14,9850

Завдання до розділу 5.

<b>Завдання до розділу №5</b>			
<b>Задача 5.1 та 5.2</b>	<b>Задача 5.3</b>	<b>Задача 5.4</b>	<b>Задача 5.5</b>
$N = 10050 + n \cdot 10$	$N = 8050 + n \cdot 10$	$N = 5050 + n \cdot 10$	$N = 5050 + n \cdot 10$
$k = 45 + n$	$\Delta_{гран} = 1.2 + 0.1 \cdot n$	$f_{об} = 1.7 + n$	$f_{об} = 1.7 + n$
$L = 400 + n \cdot 5$		$f_{зан} = 1.4 + n$	$\Delta_{гран} = 0.2 + 0.1 \cdot n$
$l_m = 48 + n$		$L = 400 + n \cdot 5$	
		$k = 35 + n$	

Таблиця максимальної пружності водяної пари  $E'$  (мм рт. ст.)

$t_m$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,64	4,67	4,71	4,74	4,78	4,81	4,85	4,88	4,92	4,96
1	4,99	5,02	5,05	5,10	5,14	5,18	5,21	5,24	5,28	5,32
2	5,36	5,40	5,44	5,48	5,52	5,56	5,59	5,63	5,68	5,72
3	5,75	5,80	5,84	5,88	5,92	5,97	6,00	6,05	6,09	6,13
4	6,18	6,22	6,26	6,31	6,35	6,40	6,44	6,49	6,54	6,57
5	6,63	6,67	6,72	6,76	6,81	6,86	6,91	6,95	7,01	7,05
6	7,11	7,15	7,20	7,25	7,30	7,35	7,40	7,46	7,51	7,55
7	7,61	7,66	7,71	7,77	7,82	7,87	7,93	7,98	8,04	8,09
8	8,15	8,20	8,26	8,31	8,38	8,43	8,49	8,54	8,60	8,66
9	8,72	8,79	8,84	8,90	8,96	9,02	9,08	9,14	9,20	9,26
10	9,33	9,39	9,45	9,52	9,58	9,64	9,71	9,77	9,83	9,90
11	9,97	10,04	10,10	10,17	10,24	10,31	10,37	10,44	10,51	10,58
12	10,66	10,72	10,79	10,87	10,94	11,00	11,08	11,16	11,23	11,30
13	11,38	11,45	11,52	11,59	11,67	11,75	11,83	11,91	11,99	12,06
14	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71	12,78	12,87
15	12,95	13,03	13,12	13,20	13,29	13,38	13,46	13,55	13,63	13,73
16	13,81	13,90	13,98	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44	14,53	14,62
17	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38	15,48	15,58
18	15,68	15,78	15,88	15,98	16,07	16,18	16,28	16,38	16,48	16,59
19	16,69	16,80	16,90	17,01	17,12	17,22	17,33	17,43	17,54	17,65
20	17,76	17,88	17,98	18,10	18,21	18,32	18,43	18,54	18,66	18,78
21	18,89	19,01	19,13	19,24	19,36	19,48	19,60	19,72	19,84	19,97
22	20,09	20,21	20,33	20,46	20,58	20,70	20,83	20,96	21,09	21,21
23	21,34	21,47	21,61	21,74	21,87	21,99	22,13	22,27	22,40	22,53
24	22,67	22,81	22,94	23,08	23,22	23,36	23,50	23,64	23,78	23,92
25	24,07	24,21	24,36	24,50	24,65	24,79	24,94	25,09	25,24	25,39
26	25,54	25,70	25,85	26,00	26,15	26,30	26,46	26,62	26,77	26,93
27	27,09	27,25	27,41	27,57	27,73	27,90	28,06	28,23	28,39	28,55
28	28,72	28,89	29,06	29,23	29,40	29,57	29,74	29,91	30,09	30,26
29	30,44	30,61	30,80	30,97	31,15	31,33	31,51	31,69	31,87	32,06
30	32,25	32,43	32,62	32,80	32,99	33,18	33,37	33,56	33,75	33,95
31	34,14	34,34	34,53	34,73	34,93	35,13	35,32	35,53	35,73	35,93
32	36,14	36,34	36,55	36,75	36,96	37,17	37,38	37,59	37,80	38,02
33	38,23	38,45	38,66	38,88	39,09	39,31	39,54	39,76	39,98	40,20
34	40,43	40,65	40,88	41,12	41,34	41,57	41,80	42,04	42,26	42,50