



Национальний університет  
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Национальний університет водного господарства та  
природокористування

Кафедра електротехніки і автоматики

**043-180**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

та завдання до виконання контрольної роботи з  
дисципліни “Загальнотехнічні вимірювання та  
прилади” для студентів за напрямом підготовки  
“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані  
технології” заочної форми навчання

Рекомендовано методичною  
комісією за напрямом підготовки  
“Автоматизація та комп’ютерно-  
інтегровані технології”  
Протокол № 1 від 19.11.2010р.

Рівне 2010



Національний університет

Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни “Загальнотехнічні вимірювання та прилади” для студентів за напрямом підготовки “Автоматизація та комп’ютерно інтегровані технології” заочної форми навчання /В.В.Кованько, - Рівне: НУВГП, 2008, - 15 с.

Упорядник: В.В. Кованько, проф. кафедри електротехніки і автоматики,

Відповідальний за випуск: Б.О.Баховець, проф., академік УЕАН, зав. кафедри електротехніки і автоматики.



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

© В.В.Кованько, 2010р.  
© НУВГП, 2010р.



## ВСТУП

Дисципліна “Загальнотехнічні вимірювання та прилади” є однією з основних дисциплін циклу професійно – орієнтованих предметів. Метою вивчення дисципліни є засвоєння студентами знань про методи вимірювання технологічних параметрів та про принципи побудови сучасних систем і приладів автоматичного контролю в промисловості.

### **Завдання на контрольну роботу**

Для того, щоб навчитися використовувати теоретичні знання для вирішення інженерних задач, методика вивчення дисципліни передбачає виконання контрольної роботи.

Контрольна робота складається з чотирьох теоретичних завдань описового характеру і однієї задачі. Варіанти завдань студенти визначають за двома останніми цифрами номера (шифру) залікової книжки. Номери чотирьох запитань (теоретичне завдання) вибирають за шифром з табл.1.

Таблиця 1

Остання цифра шифру / Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1, 13 16, 50	1, 14 27, 49	1, 16 28, 48	1, 17 29, 49	1, 18 30, 46	1, 19 31, 45	1, 21 32, 44	1, 22 33, 43	2, 23 34, 42	2, 24 35, 45
1	2, 13 26, 36	2, 14 27, 37	2, 16 28, 38	2, 17 29, 39	2, 18 30, 40	2, 19 31, 41	3, 21 32, 42	3, 22 33, 43	3, 23 34, 44	3, 24 35, 45
2	3, 13 32, 41	3, 15 33, 42	3, 16 34, 43	3, 17 35, 44	4, 18 36, 45	4, 20 37, 46	4, 21 31, 47	4, 22 32, 48	4, 23 33, 49	4, 25 37, 45
3	4, 13 28, 46	4, 15 27, 47	5, 16 26, 48	5, 17 29, 49	5, 18 30, 50	5, 20 26, 41	5, 21 27, 42	5, 22 28, 43	5, 23 29, 44	5, 25 36, 45
4	6, 14 31, 46	6, 15 32, 47	6, 16 33, 48	6, 17 34, 49	6, 19 26, 35	6, 20 36, 27	6, 21 28, 37	6, 22 38, 48	7, 24 39, 49	7, 25 40, 50
5	7, 14 29, 41	7, 15 30, 42	7, 16 31, 43	7, 17 32, 44	7, 19 33, 45	7, 20 36, 46	8, 21 37, 47	8, 22 38, 48	8, 24 39, 49	8, 25 40, 50
6	8, 14 26, 36	8, 15 27, 37	8, 16 28, 38	8, 18 29, 39	9, 19 30, 41	9, 20 31, 42	9, 21 32, 43	9, 23 33, 44	9, 24 34, 46	9, 25 35, 47
7	9, 14 26, 36	9, 15 27, 37	10, 16 28, 38	10, 18 29, 39	10, 19 30, 40	10, 20 31, 41	10, 21 34, 42	10, 23 35, 43	10, 24 34, 44	10, 25 35, 45
8	11, 14 38, 40	11, 15 39, 47	11, 17 40, 48	11, 18 41, 49	11, 19 42, 50	11, 20 26, 36	11, 22 27, 37	11, 23 28, 38	12, 24 29, 39	12, 25 30, 40
9	12, 14 31, 41	12, 15 32, 40	12, 17 33, 50	12, 18 34, 43	12, 19 35, 44	12, 20 36, 45	13, 22 37, 46	13, 23 38, 47	13, 24 39, 48	13, 25 40, 49



## Питання до контрольної роботи

1. Особливості електричних вимірювань неелектричних величин.
2. Основні поняття про види вимірювань (прямі, непрямі, сукупні, сумісні).
3. Основні різновиди перетворювачів неелектричних величин в електричні.
4. Метрологічна і енергетична сумісність засобів вимірювань, що з'єднуються між собою.
5. Послідовна і паралельна схеми корекції динамічних характеристик первинних перетворювачів.
6. Основні функції, що реалізує уніфікований перетворювач.
7. Інтелектуальні вимірювальні перетворювачі.
8. Загальна структурна схема вимірювальних перетворювачів неелектричних величин з уніфікованим вихідним сигналом.
9. Диференційно-трансформаторна система дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації.
10. Сельсинна система дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації.
11. Феродинамічна система дистанційної передачі сигналів вимірювальної інформації.
12. Розпорошена вимірювальна система та її канали зв'язку.
13. Термометри розширення.
14. Манометричні термометри.
15. Терморезистивні термометри.
16. Термоелектричні термометри.
17. Компенсатори змінного струму для вимірювання температури.
18. Оптичні пірометри.
19. Основні електричні методи та засоби вимірювання лінійних та кутових розмірів.
20. Методи вимірювання шару покриття.
21. Вимірювальні кола товщиномірів.
22. Методи вимірювання відстані між об'єктами та технічні засоби їхньої реалізації.
23. Рідинні прилади для вимірювання тиску.



24. Деформаційні прилади для вимірювання тиску.
25. Електричні манометри і вакуумметри.
26. Поплавкові рівнеміри і сигналізатори рівня.
27. Гідростатичні рівнеміри.
28. Електродні сигналізатори рівня.
29. Ультразвукові рівнеміри.
30. Рівнеміри для сипучих речовин.
31. Витратоміри змінного перепаду тиску.
32. Витратоміри постійного перепаду тиску.
33. Електромагнітні витратоміри.
34. Калориметричні витратоміри.
35. Об'ємні лічильники рідин і газів.
36. Витратоміри динамічного тиску.
37. Ультразвукові витратоміри.
38. Гальванічні перетворювачі рН – метрів.
39. Основні фізико-хімічні процеси в електрохімічних перетворювачах.
40. Електрохімічні методи вимірювання хімічного складу і концентрації рідин.
41. Кондуктометричні концентратоміри для вимірювання концентрації проточної рідини.
42. Безконтактні кондуктометричні концентратоміри.
43. Потенціометричний метод вимірювання концентрації.
44. Кулонометричний метод вимірювання концентрації певного компонента в рідкому середовищі
45. Полярографічний метод аналізу багатоконпонентних розчинів.
46. Вимірювання концентрації водних іонів.
47. рН – метрія.
48. рН – метри з корекцією.
49. Іонометрія.
50. Іоноселективні електроди.

### **Завдання до задачі**

Визначити дійсне значення температури  $\Theta_0$  об'єкта за допомогою термоелектричного термометра шляхом вилучення



похибок від впливів на результат вимірювання параметрів вимірювального кола (термопара, з'єднувальні провідники, мілівольтметр), деяких зовнішніх чинників та положення термопари.

Згідно з свого варіанту із табл.2 вибирають робочу термопару

Таблиця 2

Остання цифра шифру	Тип термоперетворювача	Технологічний діапазон вимірювальних температур $\Theta = 0, \dots, \Theta_{max}, ^\circ\text{C}$
0	ТХА	0 – 400
1	ТХК	0 – 100
2	ТПП	0 – 500
3	ТХА	0 – 360
4	ТХК	0 – 150
5	ТПП	0 – 480
6	ТХА	0 – 320
7	ТХК	0 – 200
8	ТПП	0 – 470
9	ТХА	0 – 280

В табл.2 позначено:

ТХА – термоперетворювач хромель-алюмелевий;

ТХК – термоперетворювач хромель-копелєвий;

ТПП – термоперетворювач платинородій-платиновий;

## Методичні поради до розв'язування задачі

### 1. Вплив теплопровідності

В термометрах, розмічених у металевому чохлах чи гільзі, виникають значні похибки, що необхідно враховувати.

В більшості випадків термопара знаходиться на границі двох середовищ з різними температурними полями, тому сам термометр і його елементи є каналом теплообміну. Складний динамічний характер теплової взаємодії елементів термопари, гільзи і



середовища визначають величину похибки  $\Delta_{cl}$ , зумовлену впливом

теплопровідності. Величина цієї похибки залежить від таких параметрів:  $t_H$  – температури середовища навколо гільзи з

термопарою;  $t_l = \frac{\Theta_{max}}{2}$  – температури в кінці гільзи (покази

термометра);  $t_0 = t_l - 50$  – зовнішньої температури гільзи;  $l$  –

довжини гільзи, м;  $\alpha$  – коефіцієнта тепловіддачі від середовища до

гільзи,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}}$ ;  $f = \frac{\pi}{4}(d - 2\delta)^2$  – площі поперечного

перерізу гільзи,  $\text{м}^2$ , де  $d$  – зовнішній діаметр гільзи, м,  $\delta$  –

товщини стінки гільзи, м;  $U = \pi d$ ;  $\lambda$  – коефіцієнта

теплопровідності матеріалу гільзи,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{град}}$ . Числові значення

цих параметрів наведені в табл.3.

Таблиця 3

Остання цифра шифру	$d, \text{ м}$	$\delta, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$\lambda,$ ккал / м · год · град	$\alpha,$ ккал / м <sup>2</sup> · год · град
0	0,020	0,0025	0,35	24	31
1	0,019	0,0023	0,32	25	32
2	0,018	0,0021	0,27	26	33
3	0,017	0,0019	0,23	27	34
4	0,016	0,0017	0,19	28	35
5	0,015	0,0015	0,15	29	36
6	0,014	0,0013	0,11	30	37
7	0,013	0,0011	0,14	31	38
8	0,012	0,0012	0,18	32	39
9	0,011	0,0014	0,25	33	40

При  $m = \sqrt{\frac{\alpha U}{\lambda f}}$ , формула для визначення температури  $t_H$

прийме вид





$$t_{II} = \frac{t_I \operatorname{ch}(ml) - t_0}{\operatorname{ch}(ml) - 1}.$$

/1/

Значення гіперболічного косинуса  $\operatorname{ch}$  наведено в табл.4.

Таблиця 4

$x$	$\operatorname{ch} x$	$x$	$\operatorname{ch} x$	$x$	$\operatorname{ch} x$
0,0	1,000				
0,1	1,005	1,1	1,668	2,1	4,144
0,2	1,020	1,2	1,811	2,2	4,568
0,3	1,045	1,3	1,971	2,3	5,037
0,4	1,081	1,4	2,151	2,4	5,557
0,5	1,128	1,5	2,352	2,5	6,132
0,6	1,186	1,6	2,577	2,6	6,769
0,7	1,255	1,7	2,828	2,7	7,474
0,8	1,337	1,8	3,108	2,8	8,253
0,9	1,433	1,9	3,418	2,9	9,115
1,0	1,543	2,0	3,762	3,0	10,068

Гіперболічний косинус для  $x > 3$  обчислюють за формулою

$$\operatorname{ch} x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}.$$

/2/

Систематична похибка результату вимірювань температури за рахунок впливу теплопровідності визначиться як

$$\Delta_{C1} = t_I - t_{II}.$$

/3/

## 2. Вплив теплового випромінювання

Термопара з чохлам вмонтована у трубопровід. При вимірюваннях в газових середовищах біля термопари з чохлам знаходиться поверхня сталеві труби, температура якої помітно відрізняється від температури самої термопари. В цьому випадку між даними поверхнями і термопарою проходить променевий теплообмін, що описується законом Стефана-Больцмана.



Систематична похибка вимірювання від теплового випромінювання визначиться як

$$\Delta_{C2} = \frac{C_1}{\alpha} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 \right]. \quad /4/$$

Вираз /4/ містить такі параметри:  $C_1 = 4,06 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}^4}$  –

константа теплового випромінювання для чохла термопарі із окисленої сталі;  $T_1 = t_1 + 273,15, ^\circ\text{K}$ ;  $T_0 = t_0 + 273,15, ^\circ\text{K}$ ;

$$t_0 = t_1 - 50 = \frac{\Theta_{\max}}{2} - 50.$$

Коефіцієнти  $\alpha$  і  $t_1$  вибирають із табл.3. п.1.

### 3. Вплив положення термопар

Покази термопар безпосередньо залежать від теплопередачі середовища до термопарі. Показані на рис.1 різні варіанти розміщення термопар дозволяють зробити наступні висновки. Термопара 1 встановлена неправильно, її покази залежать від температури нерухомої рідини, а не середовища, що рухається у трубопроводі. Термопара 2 у випадку перегрітої пари і гарячих рідин дозволяє наближено вимірювати температуру без занурення у середовище. Цей спосіб є придатним при високих тисках. Термопара 3 встановлена у гільзі, заповненій рідиною, що кипить. При вимірюванні температури, вона дає занижені покази. Встановлення термопарі 4 на ущільнення є правильним і рекомендоване при високих тисках. Термопара 5 може працювати тільки у середовищі при майже атмосферному тиску. Термопара 6 має розсіювання тепла (масивна гільза), яка обтікається потоком з меншою швидкістю. Обтікання термопар 7 і 8 не забезпечує доброї теплопередачі через наявність аеродинамічної “тіні” за гільзами. До того ж термопара 7 має дуже масивну гільзу. Термопара 10 встановлена зовні ізоляції на масивному штуцері, що розсіює багато тепла. Тільки термопара 9 розміщена чутливим кінцем назустріч потоку при достатній глибині занурення. Систематичні



похибки  $\Delta_{C3}$  вимірювання температури термометрами, залежно від положення їх в трубопроводі, вказані в табл.5.

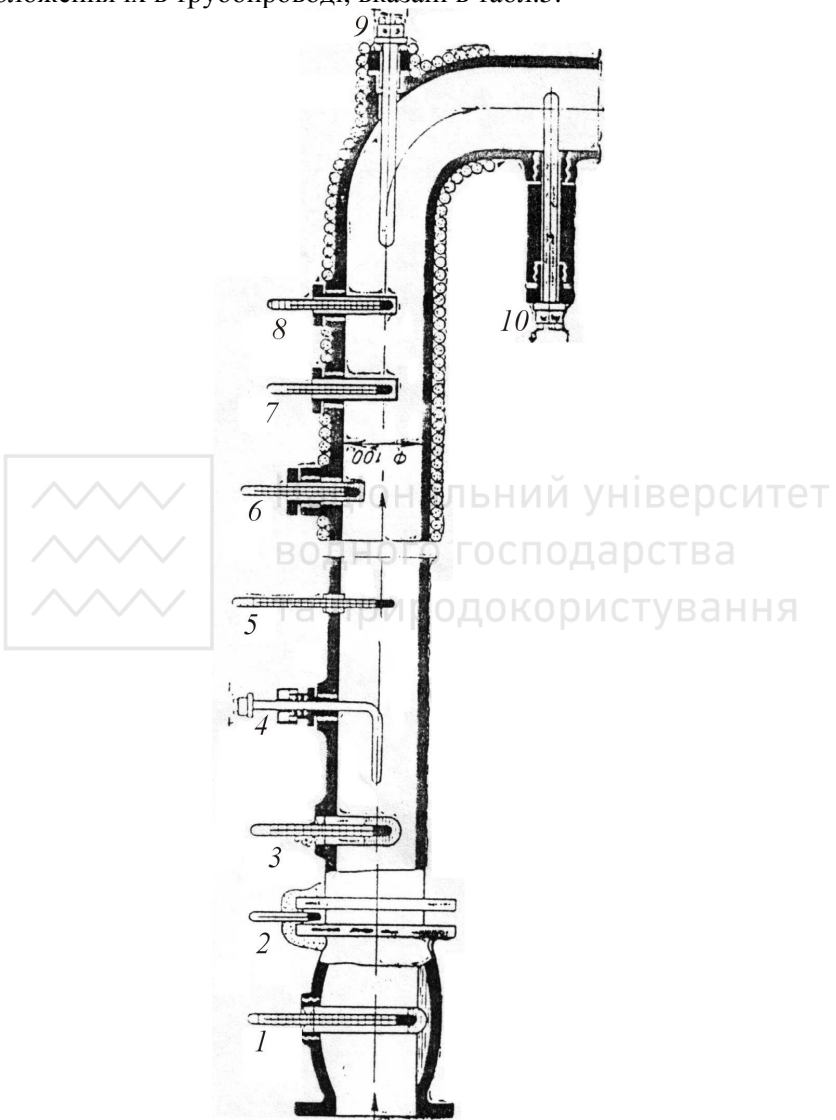


Рис.1



Таблиця 5

Остання цифра суми двох останніх цифр шифру	Положення термопар	Похибка $\Delta_{C3}$ , °C	$v$ , м/с	$R_m$ , Ом	$R_3$ , Ом	$\theta_4$ , °C
0	4	- 3	100	100	0,6	45
1	5	- 5	140	150	1,6	40
2	6	- 15	180	200	5	35
3	7	- 2	220	250	15	30
4	8	- 1	260	300	25	25
5	9	0	300	100	1,6	22
6	10	- 45	340	150	5	28
7	4	- 3	120	200	1,6	32
8	5	- 5	160	250	25	38
9	6	- 15	180	300	15	42

#### 4. Вплив швидкості потоку

При зміні температури газу, що рухається, виникає методична похибка через сповільнення його потоку термочутливим елементом. При цьому кінетична енергія газу переходить в теплову, і в зоні гарячого спаю термопар температура змінюється на величину

$$\Delta_{C4} = \frac{v^2}{2 C_p}, \quad /5/$$

де  $v$  – швидкість потоку газу після сповільнення, м/с (вибирається з табл.5);  $C_p$  – теплоємність газу при постійному тиску,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ , що визначається за формулою

$$C_p = \frac{\chi R}{\chi - 1}, \quad /6/$$

$\chi$  – показник адіабати (для повітря  $\chi = 1,4$ );  $R$  – газова стала,



$$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \quad (\text{для повітря } R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}).$$

## 5. Вплив опору зовнішнього кола

В якості засобів вимірювальної техніки, що працюють в комплекті з терморпарою, використовуються мілівольтметри, потенціометри (наприклад, ПП-63) або нормуючі перетворювачі.

В кожному з таких комплектів виникають додаткові похибки, джерелами яких є: неправильний підбір опору зовнішнього кола, зміна температури середовища, дія зовнішніх магнітних полів.

Як відомо, покази мілівольтметра визначаються струмом в електричному колі. Величина цього струму зумовлена як дійсним значенням т.е.р.с., так і сумою опорів  $R_T$ ,  $R_{II}$ ,  $R_M$ , де  $R_T$  – опір терморпари;  $R_{II}$  – опір з'єднувальних провідників;  $R_M$  – опір мілівольтметра.

Опір терморпари  $R_T$  змінюється в залежності від її зношення і нагріву. Опір з'єднувальних провідників  $R_{II}$  залежить від температури приміщення. Опір  $R_M$  також залежить від температури оточуючого середовища.

Для зменшення впливу зовнішнього опору  $R_3 = R_T + R_{II}$  на результати вимірювання опір мілівольтметра  $R_M$  підбирають набагато більшим за  $R_3$ . Крім того, опір з'єднувальних провідників підганяють до певного значення. Тоді похибку вимірювання можна обчислити за формулою

$$\Delta_{C5} = \frac{R'_T - R_T}{R_3 + R_M} \cdot \Theta \quad /7/$$

Похибка від'ємна. В даній формулі  $\Theta = \frac{\Theta_{max}}{2}$  – відлік по мілівольтметру, °C;  $R_T = 1,54l$  – опір терморпари при +20°C для електродів діаметром 0,5 мм;  $R'_T = 1,54kl$  – опір терморпари при температурі  $\Theta$ ;  $k$  – коефіцієнт, що знаходиться з табл.6;  $l$  – довжина терморпари, м (з табл.3). Значення  $l, R_M, R_3$  взяти для свого



Значення коефіцієнту  $k = \frac{R'_T}{R_T}$  для термопар

Таблиця 6

Температура °C	k	Температура °C	k	Температура °C	k
0	1.00	500	2,15	1000	3,15
100	1.24	600	2,36	1100	3,33
200	1.48	700	2,57	1200	3,51
300	1.71	800	2,77		
400	1.93	900	2,96		

## 6. Вплив опору мілівольтметра

Відносна похибка показів мілівольтметра при відхиленні його температури від градуовальної ( $\Theta_5 = +20^\circ C$ ) може бути визначена за формулою

$$\delta_{C6} = \frac{(R_M + R_3) - (R_M^{\Theta_4} + R_3)}{R_M + R_3} \cdot 100, \% \quad /8/$$

де  $R_M$  – опір мілівольтметра в умовах градуювання, Ом (із табл.5);  
 $R_3$  – опір зовнішнього кола (із табл.5);  
 $R_M^{\Theta_4} = R_M [1 + \beta(\Theta_4 - \Theta_5)]$  – опір мілівольтметра в умовах експлуатації, Ом;  $\beta = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ C$  – температурний коефіцієнт опору;  $\Theta_4$  – температура при якій експлуатується прилад (із табл.5).

Абсолютна систематична похибка за рахунок впливу опору мілівольтметра визначиться як

$$\Delta_{C6} = \frac{\delta_{C6}}{100} \cdot \Theta \quad /9/$$

Беруть усі систематичні складові похибки з відповідними знаками:  $\Delta_{C1}$ ,  $\Delta_{C2}$ ,  $\Delta_{C3}$ ,  $\Delta_{C4}$ ,  $\Delta_{C5}$ ,  $\Delta_{C6}$ . Знаходять їх алгебраїчну



суму  $\Delta_c$  і визначають поправку  $\Delta_{II}$  за формулою

$$\Delta_{II} = -\Delta_c = -\sum_{i=1}^6 \Delta_{ci} \quad /10/$$

Дійсне значення температури  $\Theta_\theta$  об'єкта визначиться за формулою

$$\Theta_\theta = \Theta_i^* + \Delta_{II}, \quad /11/$$

де  $\Theta_i^*$  - температура, що показує прилад ( $\Theta_i^* = \Theta_{max} - 80^\circ C$ ).

## Література

1. Поліщук Є.С., Дорожовець М.М., Яцук В.О. та ін. Метрологія та вимірювальна техніка (за ред. Є.Поліщука). – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544с.
2. Головка Д.Б., Рего К.Г., Скрипник Ю.О. Основи метрології та вимірювань. – К.: Либідь, 2001. – 248с.
3. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. – Львів. – 2000. – 360с.
4. Цюцюра С.В., Цюцюра В.Д. Метрологія, основи вимірювань, стандартизація та сертифікація. – К.: Знання, 2006. – 242с.
5. Фарзане Н.Г., Илясов Л.В., Азим – Заде А.Н. Технологические измерения и приборы. – М., Высшая школа. – 1989. – 455с.
6. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. – М.: Машиностроение, 1989. – 295с.