

Установа адукацыі
«БЕЛАРУСКІ ДЗЯРЖАЎНЫ ТЭХНАЛАГІЧНЫ УНІВЕРСІТЭТ»

У. І. Бакаленка, В. Б. Міхайлаў

**МЕТРАЛОГІЯ
І ТЭХНІЧНЫЯ ВЫМЯРЭННІ
ГАЛІНЫ**

ЛАБАРАТОРНЫ ПРАКТЫКУМ

*Рэкамендавана
вучэбна-метадычным аб'яднаннем вышэйшых навучальных устаноў
Рэспублікі Беларусь па адукацыі ў галіне аўтаматызацыі
тэхналагічных працэсаў, вытворчасцей і кіравання ў якасці дапаможніка
для студэнтаў вышэйшых навучальных устаноў, якія навучаюцца
па спецыяльнасці 1-53 01 01 «Аўтаматызацыя тэхналагічных працэсаў
і вытворчасцей»*

Мінск 2007

УДК 006.91(076.5)

ББК 34.32я7

Б 12

Рэцэнзенты:

дацэнт кафедры фізічнай электронікі БДУ кандыдат
фізіка-матэматычных навук *А. П. Бурмакоў*;
заг. аддзела РУП НПП ІМСХ НАНБ старшы навуковы супрацоўнік,
кандыдат тэхнічных навук *В. Ф. Марышаў*

*Усе правы на дадзенае выданне абаронены. Узнаўленне ўсёй кнігі або яе часткі
не можа быць ажыццёўлена без дазволу ўстановы адукацыі
«Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт».*

Бакаленка, У. І.

Б 12 Метралогія і тэхнічныя вымярэнні галіны. Лабараторны практыкум : дапаможнік для студэнтаў спецыяльнасці 1-53 01 01 «Аўтаматызацыя тэхналагічных працэсаў і вытворчасцей» / У. І. Бакаленка, В. Б. Міхайлаў. – Мінск : БДТУ, 2007. – 92 с.

ISBN 978-985-434-776-9

Практыкум прызначаны для выканання лабараторных работ па асноўных раздзелах дысцыпліны «Метралогія і тэхнічныя вымярэнні ў галіне». Прыведзены неабходныя звесткі па тэорыі метадаў вымярэння, апісанні прыбораў, заданні на работу, метадыкі выканання работы і разлікаў, афармленне справаздач. Некаторыя аб'ёмныя вымярэнні і разлікі выконваюцца на ПЭВМ.

УДК 006.91(076.5)

ББК 34.32я7

ISBN 978-985-434-776-9

© УА «Беларускі дзяржаўны
тэхналагічны ўніверсітэт», 2007

© Бакаленка У. І., Міхайлаў В. Б., 2007

УВОДЗІНЫ

Вымярэнні з'яўляюцца абавязковай складальнай часткай любога сучаснага вытворчага працэсу, мэта якога – атрыманне аператыўнай і неабходнай інфармацыі. Ад таго, як выкананы вымярэнні, залежыць якасць прадукцыі, эфектыўнасць сістэм кіравання і аховы, працаздольнасць тэхналагічнага абсталявання, бяспека персаналу і інш.

Нягледзячы на тое, што галоўная мэта метралогіі – навукі аб вымярэннях – забяспечыць выкананне эксперыментальнага працэсу з патрабуемай дакладнасцю і вядомай верагоднасцю, многія з'явы патрабуюць глыбокага філасофскага асэнсавання. Таму пытаннямі метралогіі займаліся многія выдатныя навукоўцы ўсіх часоў: Галілео Галілей, Леанарда да Вінчы, Кельвін, Дз. І. Мендзялееў і інш. Сучасная тэарэтычная метралогія, абапіраючыся на шматлікія прыродазнаўчыя навукі, усё шырэй выкарыстоўвае палажэнні тэорыі верагоднасці і матэматычнай статыстыкі.

Асноўным элементам, з дапамогай якога выконваюцца вымярэнні, з'яўляюцца сродкі вымярэнняў (СВ). За апошнія некалькі дзесяцігоддзяў СВ з простых прылад з механічнымі вузламі ператварыліся ў складаныя мікрапрацэсарныя вымяральныя сістэмы, якія характарызуюцца шырокім наборам функцый і значна палепшанымі метралогічнымі характарыстыкамі. Адпаведна больш высокія патрабаванні прад'яўляюцца і да метралогічнага забеспячэння СВ, адной з задач якіх з'яўляюцца выпрабаванні СВ і іх паверка.

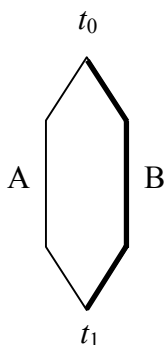
Лабораторная работа № 1

ДАСЛЕДАВАННЕ МЕТРАЛАГІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ПАТЭНЦЫЁМЕТРАЎ КСП-4, ДЫСК-250

Мэта работы: азнаямленне з прынцыпам дзеяння, канструкцыяй і характарыстыкамі тэрмаэлектрычных пераўтваральнікаў (ТЭП), другасных прыбораў ДЫСК-250 і КСП-4 і вызначэнне іх метралагічных характарыстык.

1.1. Агульныя звесткі

Вымярэнне тэмпературы з дапамогай ТЭП заснавана на тэрмаэлектрычным эфекце, які быў адкрыты Зеебекам у 1821 г., згодна з якім у замкнутым ланцугу, які складаецца з двух або некалькіх разнародных праваднікоў, узнікае электрычны ток, калі хаця б два месцы злучэння праваднікоў (спая) знаходзяцца пры рознай тэмпературы.



Мал. 1.1. Тэрмапара

Ланцуг, які складаецца з двух разнародных праваднікоў (тэрмаэлектродаў), называецца *тэрмапарай* (мал. 1.1). Спай з пастаяннай тэмпературай t_0 называецца *халодным*, а спай, які вымярае тэмпературу t_1 , называецца *гарачым*. Пры размыканні такога ланцуга на яго канцах можа быць вымерана так называемая *тэрмаэлектрарухаючая сіла* (тэрмаЭРС). Узнікненне яе тлумачыцца тым, што розныя металы маюць розную работу выхаду электронаў, у выніку чаго адрозніваюцца і канцэнтрацыі свабодных электронаў – носьбітаў зараду. У месцы кантакту праваднікоў

назіраецца пераход часткі электронаў з аднаго металу ў другі пад уздзеяннем рознасці канцэнтрацый. Пры гэтым адзін з металаў набывае аб'ёмны станоўчы заряд, а другі – адмоўны. Гэта, у сваю чаргу, прыводзіць да ўзнікнення электрычнага поля, якое перашкаджае руху электронаў у адным напрамку і спрыяе руху ў процілеглым. Дынамічнай раўнавазе адпавядае кантактная ЭРС, якая залежыць ад рознасці канцэнтрацый свабодных электронаў (г. зн. уласцівасцей тэрмаэлектродаў) і тэмпературы. Адрозненне тэмператур на канцах праваднікоў прыводзіць да рознасці патэнцыялаў на іх, што звязана з узнікненнем дыфузіі электронаў у правадніках.

Такім чынам, гэтыя фактары уплываюць на выніковую тэрмаЭРС. Тэрмаэлектрод (А), ад якога ў спаі з меншай тэмпературай цячэ ток да другога тэрмаэлектрода, прынята лічыць станоўчым, а другі (В) – адмоўным.

Кантактныя тэрмаЭРС пры аднолькавых тэмпературах спаяў роўныя па велічыні і накіраваны насустрач адна адной:

$$\dot{a}_{\hat{A}\hat{A}}(t_0) = -\dot{a}_{\hat{A}\hat{A}}(t_0). \quad (1)$$

Калі тэмпературы спаяў адрозніваюцца, то выніковая тэрмаЭРС контуру – сума кантактных тэрмаЭРС з улікам накірунку яго абходу:

$$E_{\hat{A}\hat{A}}(t_1, t_0) = \dot{a}_{\hat{A}\hat{A}}(t_1) + \dot{a}_{\hat{A}\hat{A}}(t_0), \quad (2)$$

або з улікам (1)

$$E_{\hat{A}\hat{A}}(t_1, t_0) = \dot{a}_{\hat{A}\hat{A}}(t_1) - \dot{a}_{\hat{A}\hat{A}}(t_0). \quad (3)$$

Выраз (3) з'яўляецца асноўным ураўненнем ТЭП. З яго вынікае, што тэрмаЭРС залежыць ад рознасці функцый тэмператур t_1 і t_0 . Калі забяспечыць $t_0 = \text{const}$, то

$$e_{\hat{A}\hat{A}}(t_0) = \text{const} = c \text{ і } E_{\hat{A}\hat{A}}(t_1, t_0) = e_{\hat{A}\hat{A}}(t_1) - c = f(t). \quad (4)$$

Як правіла, $t_0 = 0^\circ\text{C}$ і па залежнасці (4) шляхам вымярэння тэрмаЭРС у контуры ТЭП можа быць знойдзена тэмпература t_1 у аб'екце вымярэнняў. Калі тэмпература халоднага спаю t_0 не роўна 0, то неабходна ўводзіць адпаведную папраўку.

У агульным выпадку любыя два разнастайныя праваднікі могуць ужывацца ў якасці тэрмаэлектродаў, аднак на практыцы выкарыстоўваецца абмежаванае спалучэнне сплаваў, якія валодаюць найлепшымі метралагічнымі характарыстыкамі. У сувязі са значнай нелінейнасцю статычнай характарыстыкі ТЭП, яе задаюць у выглядзе табліц. У адпаведнасці з ДАСТ 3044–84 выпускаецца шэсць тыпаў тэхнічных тэрмапар, характарыстыкі якіх прыведзены ў табл. 1.

Кожная мае свае перавагі і недахопы:

– **ТХК** – валодаюць найбольшай адчувальнасцю і высокай тэрмаэлектрычнай стабільнасцю пры тэмпературы да 600°C . Яны прызначаны для работы ў акісляльных і інертных асяроддзях. Недахоп: высокая адчувальнасць да дэфармацый;

– **ТХА** – валодаюць найбольш блізкай да прамой характарыстыкай. Прызначаны для работы ў акісляльных і інертных асяроддзях;

– **ТПП** – валодаюць высокай устойлівасцю да газавай карозіі, асабліва на паветры пры высокіх тэмпературах, і высокай надзейнасцю

пры рабоце ў вакууме. Тэрмапары прызначаны для працяглай эксплуатацыі ў акісляльных асяроддзях. Недахоп: высокая адчувальнасць тэрмаэлектродаў да любых забруджванняў, якія ўзнікаюць пры іх вырабу, мантажу або эксплуатацыі;

– **ТВР** – валодае магчымасцю працяглага выкарыстання пры тэмпературах да 2200°C у неакісляльных асяроддзях і ўстойлівасцю ў аргоне, геліі, сухім вадародзе і азоце. Недахоп: дрэнная аднаўляльнасць тэрмаЭРС.

Табліца 1

Характарыстыкі тыпаў тэрмапар у адпаведнасці з ДАСТ 3044–84

Тып	Умоўнае абазначэнне	$e_{AB}(100, 0)$, mV	Матэрыял электрода		Дыяпазон вымярэнняў, °C	
			станоўчага	адмоўнага	ад	да
ТМК	МК(М)	~4,0	Медзь	Канстантан (55% Cu + 45% Ni, Mn, Fe)	-200	100
ТХК	ХК(L)	6,842	Храмель	Копель	-200	600
ТХА	ХА(К)	4,095	Храмель	Алюмель	0	1000
ТПП	ПП(s)	0,643	Плаціна – родый (Pt – 10%)	Плаціна	0	1300
ТПР	ПР30/6(В)	0,431 (300,0)	Плаціна – родый (Rd – 30%)	Плаціна – родый (Rd – 6%)	300	1600
ТВР	ВР5/20-1(А)	1,337	Вальфрам – рэній (Re – 5%)	Вальфрам – рэній (Re – 20%)	0	2200

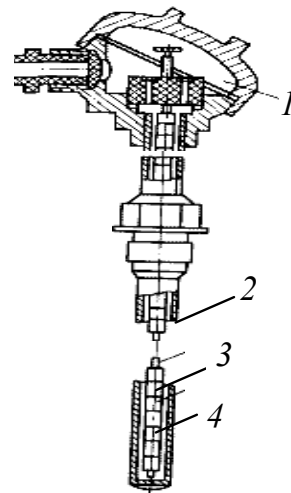
Заўвага. Прыблізны склад тэрмаэлектродаў: храмель (90,5% Ni + 9,5% Cr); алюмель (94,5% Ni + 5,5% Al, Si, Mn, Co); копель (56% Cu + 44% Ni).

Межы дапушчальных адхіленняў тэрмаЭРС ад намінальнага значэння могуць быць вызначаны па формулах:

ХК(L)	$0,20 + 0,52 \cdot 10^{-3}(t - 300)$	$300 < t < 800,$
ХА(К)	$0,140 + 0,22 \cdot 10^{-3}(t - 300)$	$300 < t < 1300,$
ПП(s)	$0,008 + 2,69 \cdot 10^{-5}(t - 300)$	$300 < t < 1300,$
ПР(В)	$0,009 + 3,14 \cdot 10^{-5}(t - 300)$	$300 < t < 1800,$
ВР(А)	$0,08 + 3,8 \cdot 10^{-5}(t - 1000)$	$1000 < t < 1800.$

ТЭП выпускаюцца наступных выкананняў: апускныя і паверхневыя; звычайныя, водазасцерагальныя, выбуховабяспечныя; малой, сярэдняй і вялікай інерцыйнасці. Канструкцыя прамысловай тэрмапары паказана на мал. 1.2.

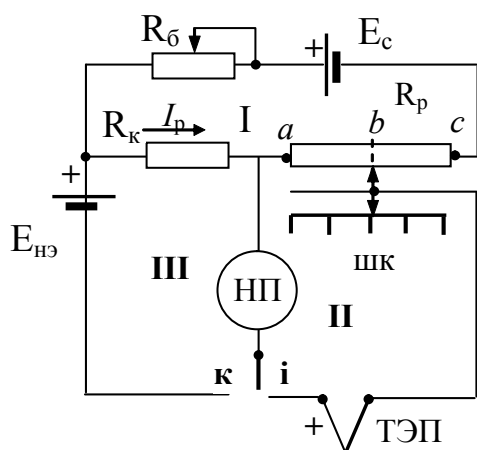
Тэрмаэлектроды 3 ізалююцца адзін ад аднаго керамічнымі каралямі 4 або керамічнай трубкай; адным сваім канцом яны зварваюцца, другім – злучаюцца з заціскамі у голоўцы 1, якая служыць для падключэння знешніх правадоў. Тэрмаэлектроды змяшчаюцца ў ахоўны чахол 2. Ён вырабляецца з гарачатрывалай сталі, а пры вымярэнні вельмі вялікіх тэмператур – з керамікі або кварцу. Даўжыня мантажнай часткі тэрмапар змяняецца ад некалькіх сантыметраў да 3 м.



Мал. 1.2. Канструкцыя тэрмапары

Вымярэнне тэрмаЭРС. Як бачым з табл. 1, тэрмаЭРС вельмі малая, і вымераць яе з высокай дакладнасцю дастаткова складана. Таму выкарыстоўваюцца мілівольтметры або патэнцыёметры. Найбольш шырока выкарыстоўваюцца кампенсакійныя патэнцыёметры, прыцып дзеяння якіх заснаваны на ўраўнаважанні кампенсакіі) невядомай ЭРС вядомым падзеннем напружання

Прынцыповая электрычная схема патэнцыёметра паказана на мал. 1.3.



Мал. 1.3. Прынцыповая электрычная схема патэнцыёметра пастаяннага току

У схеме можна выдзеліць 3 контуры:

I – контур рабочага току,

II – вымяральны контур,

III – кантрольны контур.

Контур I складаецца з крыніцы сілкавання E_c , рэзістара рэгулявання рабочага току $R_б$, кантрольнага рэзістара $R_к$ і рэахорда $R_р$.

Рабочы ток I_p , які працякае ў

$$I_{\delta} = \frac{E_c}{R_a + R_{\delta} + R_{\epsilon} + R_f}, \quad (5)$$

дзе E_c і R_E – напружанне і ўнутранае супраціўленне крыніцы сілкавання.

Контур II складаецца з тэрмапары, рэахорда R_p і НП.

Контур III уключае R_k , нармальны элемент Вестана $E_{нэ}$ і нуля-прыбор (НП). *Нармальным элементом* называюць крыніцу пастаяннага току, якая мае напружанне 1,0186–1,0193 В, якое пры ўмове, што ток спажывання кароткачасовы і не перавышае 10 мА, можа захоўвацца на працягу некалькіх гадоў.

Пры ўсталяванні ключа ў становішча I электрычная схема складаецца з двух контураў: I і II. Для вымяральнага контура II на падставе другога закона Кірхгофа можна запісаць:

$$E(t, t_0) = I_{II}(R_{iI} + R_{\text{ОУІ}}) + I_{ab}R_{ab} = I_{II}(R_{iI} + R_{\text{ОУІ}}) + I_{\delta}R_{ab} + I_{II}R_{ab},$$

або

$$E(t, t_0) = I_{II}(R_{iI} + R_{\text{ОУІ}} + R_{ab}) + I_{\delta}R_{ab}, \quad (6)$$

дзе $R_{\text{ОУІ}}$ – агульнае супраціўленне ТЭП і далучальных правадоў, R_{iI} – супраціўленне нуля-прыбора.

З ураўнення (6) атрымаем:

$$I_{II} = \frac{E(t, t_0) - I_p R_{ab}}{R_{\text{НП}} + R_{\text{ТЭП}} + R_{ab}}. \quad (7)$$

У працэсе вымярэнняў, змяняючы супраціўленне R_{ab} , дабіваюцца стану кампенсацыі, пры якім ток у контуры II роўны нулю. Пры гэтым стрэлка НП усталёўваецца ў нулявое становішча. Тады

$$E(t, t_0) = I_{\delta}R_{ab}, \quad (8)$$

г. зн. тэрмаЭРС тэрмапары $E(t_0, t_1)$ вызначаецца велічынёй падзення напружання на ўчастку супраціўлення R_{ab} і не залежыць ад супраціўленняў НП і знешняга ланцуга.

Злучыўшы цвёрда паўзунок рэахорда R_p са стрэлкай, якая слізгае па шкале ШК, па яе становішчы ў момант поўнай кампенсацыі можна вызначыць тэмпературу, калі шкала адградуіравана ў градусах.

Аднак для таго, каб адно і тое ж становішча паўзунка ў момант поўнай кампенсацыі дакладна адпавядала адной і той жа велічыні вымяраемай тэрмаЭРС, неабходна забяспечыць пастаянства рабочага току I_p . Каб змяненне напружання крыніцы E_c (напрыклад, у выніку разраду батарэі) не ўносіла хібнасць у вымярэнні, прадугледжаны кантрольны ланцуг, які дазваляе перыядычна кантраляваць велічыню рабочага току і пры неабходнасці карэктываць яго. Для гэтага пераключальнік устанаўліваюць у становішча К (кантроль). Тэрмапара ад-

ключаецца ад схемы, а нармальны элемент падключаецца так, што яго напружанне параўноўваецца з падзеннем напружання на кантрольным супраціўленні R_k . Велічыня R_k выбіраецца так, каб пры працяканні стандартнага рабочага току I_p прыбора захоўвалася роўнасць

$$I_{\delta} R_{\epsilon} = A_{i\gamma}. \quad (9)$$

Гэтай роўнасці таксама адпавядае адсутнасць току ў ланцугу НП. Калі роўнасць (9) не выконваецца, то, перамяшчаючы рухавічок рэзістара R_{δ} , змяняюць велічыню рабочага току, пакуль стрэлка НП не ўстанавіцца на нуль.

Улічваючы (8) і (9), можна запісаць:

$$E(t, t_0) = E_i \frac{R_{ab}}{R_{\epsilon}}. \quad (10)$$

Пры раўнамернай намотцы рэахорда супраціўленне яго ўчасткаў прапарцыянальна адпаведнай даўжыні, і тады

$$E(t, t_0) = E_i \gamma \frac{R_{\delta}}{R_{\epsilon}} \frac{l_{ab}}{L_{ac}} = kl_{ab}. \quad (11)$$

Такім чынам, вымярэнне тэрмаЭРС зводзіцца да вымярэння даўжыні l_{ab} участка рэахорда, які праградуіраваны у адзінках тэмпературы.

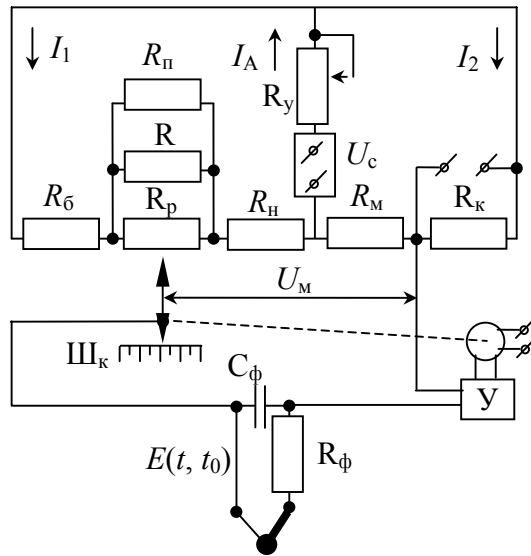
Па разгледжанай схеме працуюць неаўтаматычныя патэнцыёметры ПП-63 і Р-363, якія маюць класы дакладнасці 0,05 і 0,001 адпаведна і выкарыстоўваюцца ў лабараторных і навуковых доследах.

Аўтаматычны патэнцыёметр **КСП-4** працуе ў камплекце з тэрмаэлектрычнымі пераўтваральнікамі або крыніцамі пастаяннага напружання, а таксама тэлескопамі радыяцыйных пірометраў сумарнага выпраменьвання. Супраціўленне першасных пераўтваральнікаў, уключаючы супраціўленне лініі сувязі, не павінна перавышаць 200 Ом. Прыбор можа быць аднолькавым і шматканальным.

ТэрмаЭРС $E(t, t_0)$ параўноўваецца з напружаннем у вымяральнай дыяганалі неўраўнаважанага моста U_m . Рознасць напружанняў паступае на ўзмацняльнік, да выхаду якога падключаны рэверсіўны рухавік.

На ўваход узмацняльніка U паступае сігнал разузгаднення $\Delta U = E(t_0, t_1) - U_m$, які ўзмацняецца і падаецца на рэверсіўны рухавік. Калі гэта напружанне не роўна 0, то рухавік круціцца, перамяшчаючы рухавічок рэахорда ў бок памяншэння напружання разузгаднення ў стане раўнавагі:

$$E(t, t_0) = U_i = U(R_\delta) + U(R_i) - U(R_i). \quad (12)$$



Мал. 1.4. Вымяральная схема аўтаматычнага патэнцыёметра КСП-4:
 C_ϕ , R_ϕ – фільтры для ліквідацыі наводак токаў прамысловай частаты;
 U_c – стабілізаваная крыніца сілкавання 5 В; R_p – рэахорд; R – шунт;
 R_n – падгонкавае супраціўленне; R_y – рэзістар для устаноўкі тока I_a ;
 R_m – меднае супраціўленне для тэмпературнай карэкцыі; R_k – рэзістар, які
 выбіраецца так, каб падзенне напружання на ім адпавядала ЭРС нармальнага
 элемента – 1,0186 В; R_n і R_6 служаць для ўстаноўкі пачатку шкалы і тока I_1

Тэмпературная карэкцыя дзейнічае наступным чынам: пры павелічэнні тэмпературы навакольнага асяроддзя t_0 паменшыцца $E(t, t_0)$, адначасова гэта прывядзе да павелічэння $U(R_m)$, і становішча раўнавагі (у адпаведнасці з (12)) не парушыцца.

Прынцыповая электрычная схема патэнцыёметра прыведзена на мал. 1.4.

Прыборы, якія рэгіструюць **ДЫСК-250**, прызначаны для вымярэння і рэгістрацыі фізічнай велічыні, пераўтворанай ў сігналы тэрмапар, ТС або уніфікаваных сігналаў. Прыборы выкарыстоўваюцца ў металургіі, машынабудаванні, нафтаздабываючай, перапрацоўчай, хімічнай, харчовай і іншых галінах прамысловасці.

Падключэнне ТС ажыццяўляецца па чатырох- або трохправаднай схеме. Пры гэтым супраціўленне кожнага проваду, размеркаванае па ўсёй даўжыні сувязі, не павінна перавышаць 35 Ом.

Прыборы маюць унутраную кампенсацыю тэмпературы халоднага спаю. Сумарнае супраціўленне лініі сувязі і ўнутранага супраціўлення тэрмапары не павінны перавышаць 200 Ом.

Прыбор ажыццяўляе рэгістрацыю вынікаў вымярэнняў на дыяграмным дыску ў палярных каардынатах. Час праходжання вузла запісу ад аднаго гранічнага значэння да другога не перавышае 10 с.

Мяжа асноўнай прыведзенай хібнасці прыбора складае $\pm 0,25\%$.

Прыбор можа ажыццяўляць кантроль выхадзі вынікаў вымярэнняў за дапушчальныя межы ўстаўкі. Пры выхадзе вымеранага значэння за зададзеныя межы ўключаецца святлодыёд на накрыўцы прыбора і змяняецца стан рэле. Прыбор мае ўбудаваны рэгулятар.

1.2. Апісанне лабараторнай устаноўкі

Лабараторная ўстаноўка складаецца з патэнцыёмэтра ПП-63, з дапамогай якога на павяраемыя прыборы падаецца напружанне, якое імітуе тэрмаЭРС, і аўтаматычных пацэнцыёмэтраў КСП-4 і ДЫСК-250.

1.3. Парадак выканання работы

1. Праверыць правільнасць падключэння прыбораў і становішча тумблераў патэнцыёмэтра ПП-63.

2. Уключыць сілкаванне прыбораў і вытрымаць 5–10 хвіл.

3. Устанавіць на ПП-63 тумблер у становішча К. Націснуць кнопку «**Грубо**» і, не адпускаючы яе, устанавіць стрэлку нуль-індыкатара на нуль з дапамогай ручкі «**Рабочий ток**» (малой). Затым аналагічна правесці дакладную ўстаноўку рабочага току з дапамогай кнопкі «**Точно**» і вялікай ручкі «**Рабочий ток**».

4. З дапамогай ручкі «**Напряжение**» устанавіць стрэлку патэнцыёмэтра КСП-4 на нулявую адзнаку.

5. Устанавіць на ПП-63 тумблер у становішча «И». Націснуць кнопку «**Грубо**» і, не адпускаючы яе, устанавіць стрэлку нуль-індыкатара на нуль з дапамогай ручкі «**мВ**» (левай). Далей устанавіць стрэлку нуль-індыкатара на нуль з дапамогай кнопкі «**Точно**» і правай ручкі «**мВ**».

6. Запісаць у табл. 2 значэнне, вызначанае па шкале «**мВ**».

7. Паўтарыць п. 3–6, паслядоўна ўстанаўліваючы стрэлку патэнцыёмэтра КСП-4 на адзнакі шкалы пры прамым і зваротным ходзе, указаныя выкладчыкам.

8. Для кожнага вымярэння вызначыць абсалютную і прыведзеную хібнасці прыбора па формулах:

$$\Delta = E_1 - E_0, \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{E_{\max} - E_{\min}} \cdot 100\%, \quad (14)$$

дзе E_1 – значэнне, якое вызначана па шкале ўзорнага пацэнцыметра (ПП-63); E_0 – таблічнае значэнне тэрмаЭРС, якое адпавядае вымяраемай тэмпературы; E_{\max} і E_{\min} – тэрмаЭРС, якія адпавядаюць максімальнай і мінімальнай вымяраемым тэмпературам.

9. На падставе атрыманых вынікаў вызначыць характар хібнасці і зрабіць вывад аб прыгоднасці прыбора да эксплуатацыі.

10. Выканаць п. 3–9 для пацэнцыметра ДЫСК-250.

11. Вынікі вымярэнняў запісаць у табл. 2.

Табліца 2

$t, ^\circ\text{C}$	E_0, mV	E_1, mV		Δ, mV		$\gamma, \%$	
		прамы ход	зваротны ход	прамы ход	зваротны ход	прамы ход	зваротны ход

1.4. Змест справаздачы

Справаздача па дадзенай рабоце павінна ўключаць: схемы вывучаемых другасных прыбораў; табліцы вымераных і вылічаных значэнняў; вылічэнне метралагічных характарыстык; вывады аб прыгоднасці прыбораў да эксплуатацыі шляхам параўнання класа дакладнасці з максімальна дапушчальнай хібнасцю.

Кантрольныя пытанні

1. Пералічыць метралагічныя характарыстыкі, якія вызначаюцца пры паверцы прыбораў.

2. Раствлумачыць прыныцып дзеяння ТЭП. Якія існуюць статычныя характарыстыкі і матэрыялы ТЭП?

3. У чым заключаецца сутнасць кампенсацыйнага метаду вымярэння? Раствлумачыць прыныцып дзеяння пацэнцыметра.

4. З якіх функцыянальных вузлоў складаецца аўтаматычны пацэнцыметр КСП-4 і ДЫСК-250?

Лабараторная работа № 2

ДАСЛЕДАВАННЕ МЕТРАЛАГІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК НАРМУЮЧЫХ ПЕРАЎТВАРАЛЬНІКАЎ

Мэта работы: вывучэнне прынцыпу дзеяння, канструкцыі і метралагічных характарыстык нармуючых пераўтваральнікаў.

2.1. Агульныя звесткі

Нармуючыя вымяральныя пераўтваральнікі адносяца да функцыянальнай групы сродкаў атрымання інфармацыі і прызначаны для пераўтварэння натуральных выхадных сігналаў першасных вымяральных пераўтваральнікаў ва уніфікаваны выхадны сігнал (табл. 1).

У якасці уніфікаваных сігналаў выкарыстоўваюць:

– пастаянны ток, які змяняецца ад 0–5 мА (0–20, 4–20 мА) пры змене сігнала ад першаснага пераўтваральніка ад 0 да 100% дыяпазону вымярэнняў;

– напружанне пастаяннага току, якое змяняецца ў дыяпазонах 0–1, 0–10 В.

Табліца 1

Тыпы нармуючых пераўтваральнікаў

Тып першаснага пераўтваральніка	Выгляд выхаднога сігнала першаснага пераўтваральніка	Тып нармуючага пераўтваральніка	Выхадны сігнал нармуючага пераўтваральніка
Тэнзарэзістарны	Супраціўленне, Ом	ПА-1	0–1 В
Дыферэнцыяльна-трансфарматарны	Індуктыўнасць, мГ	НП-ПЗ	0–5 мА
Тэрмарэзістыўны	Супраціўленне, Ом	Ш71, Ш71-И, ПТ-ТС-68	0–5 мА, 0–10 В
Тэрмаэлектрычны	ЭРС, мВ	Ш72, Ш72-И, ПТ-ТП-68	0–5 мА, 0–10 В 0–5 мА
Рэахордны	ЭРС, мВ	Ш73, НР-РІ	0–5 мА, 0–10 В

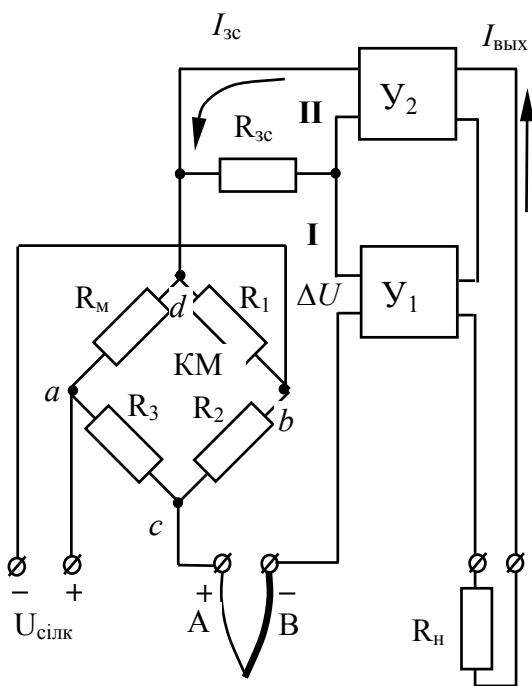
Сігналы 0–5 мА выкарыстоўваюць пры даўжыні ліній сувязі да 5 км, а 0–20 (4–20) – да 20 км.

Токавыя сігналы валодаюць добрай перашкодааховай. Найбольш шырока выкарыстоўваецца дыяпазон 4–20 мА, бо дазваляе

дастаткова проста кантраляваць абрыў ліній сувязі. Акрамя таго, нармуючыя пераўтваральнікі выкарыстоўваюцца ў сістэмах дыстанцыйнага кантролю, паколькі выхадныя сігналы вымяральных пераўтваральнікаў маюць малую магутнасць і іх перадача на вялікія адлегласці ў шэрагу выпадкаў ускладнена.

Уніфікацыя выхаднага сігнала першаснага пераўтваральніка дазваляе рэзка скараціць наменклатуру другасных прыбораў, забяспечыць іх узаемазамяняльнасць і распрацаваць інфармацыйна-вымяральныя комплексы з прымяненнем ЭВМ.

2.1.1. Нармуючыя пераўтваральнікі тэрмаЭРС. У аснову



Мал. 2.1. Структурная схема нарміруючага пераўтваральніка

работы пакладзены кампенсцыйны метад вымярэння тэрмаЭРС з выкарыстаннем схемы патэнцыёмэтра з пераменнай сілай рабочага току. Схема пераўтваральніка прыведзена на мал. 2.1. Тут **I** – контур вымярэнняў; **II** – контур кампенсавання. Контур **I** утрымлівае карэктуючы мост КМ, узмацняльнік Y_1 з токавым выхадам $I_{\text{ВЫХ}}$, рэзістар $R_{\text{ЗС}}$ і тэрмапару $E_{\text{АВ}}(t, t_0)$. Карэктуючы мост прызначаны для ўвядзення аўтаматычнай папраўкі на змену тэмпературы свабодных канцоў ТЭП, а таксама кампенсаванні пачатковай тэрмаЭРС у пераўтваральніках, ніжняя мяжа вымярэння якіх не роўна 0°C .

Карэктуючы мост уяўляе сабой электрычны нераўнаважаны мост са сталымі манганінавымі рэзістарамі R_1, R_2, R_3 і медным рэзістарам R_M . Дыяганаль ab сілкавання моста далучана да стабілізаванай крыніцы сілкавання $U_{\text{сiлк}}$. Напружанне гэтай крыніцы выбіраецца ў залежнасці ад градуіроўкі далучанай тэрмапары. Вымяральная дыяганаль cd карэктуючага моста ўключана ў разрыў паміж электродам тэрмапары і злучальным провадам. Пры тэмпературы свабодных канцоў ТЭП, а такім чынам і рэзістара R_M , размешчанага побач з канцамі падоўжаных правадоў, роўнай 0°C , мост знаходзіцца ў раўнавазе, г. зн. напружанне ў дыяганалі cd роўна нулю. Калі тэмпература свабодных канцоў, напрыклад, вырасла і стала t_0' , то супраціў-

ленне рэзістара R_m таксама вырасце, у выніку чаго ў дыяганалі з'явіцца напружанне U_{cd} . Яго кампенсуе тэрмаЭРС, якая адсутнічае, г. зн.

$$U_{cd} = E_{AB}(t_0', t_0).$$

Узмацняльнік Y_1 складаецца з двух каскадаў: магнітнага УМ, выкананага па двухтактнай двухпаўперыяднай схеме, і паўправадніковага ўзмацняльніка УП, які працуе ў рэжыме ўзмацнення пасатаяннага току. Узмацняльнік Y_1 выконвае функцыі нуля-індыкатара.

Контур кампенсавання II уключае ў сябе рэзістар R_{zc} і ўзмацняльнік зваротнай сувязі Y_2 . Гэты ўзмацняльнік аналагічны ўзмацняльніку Y_1 , але ўключаны з глыбокай адмоўнай сувяззю па выхадным току ўзмацняльніка. Выхадны ток I_{zc} ўзмацняльніка Y_2 з'яўляецца рабочым токам контура II, на якім пры праходжанні гэтага току па супраціўленню R_{zc} ствараецца кампенсуючае напружанне

$$U_{zc} = I_{zc}R_{zc}. \quad (1)$$

З боку контура I да рэзістара R_{zc} падводзіцца сігнал ТЭП $E_{AB}(t, t_0)$, складзены з напружаннем U_{cd} , якое ствараецца ў вымяральной дыяганалі карэктуючага маста. Такім чынам, гэты сумарны сігнал параўноўваецца з напружаннем U_{zc} . Небаланс, роўны

$$\Delta U = E_{AB}(t, t_0) + U_{cd} - U_{zc}, \quad (2)$$

падаецца на ўзмацняльнік Y_1 . Выхадны сігнал ўзмацняльніка Y_1 стварае ток $I_{вых}$, які паступае ў знешні ланцуг R_n і далей – ва ўзмацняльнік зваротнай сувязі Y_2 . Выхадны ток I_{zc} ўзмацняльніка Y_2 змяняецца і выклікае падзенне напружання U_{zc} на рэзістары R_{zc} , пакуль небаланс ΔU не дасягне некаторай малой велічыні δU , якую называюць статычнай памылкай кампенсавання.

Наяўнасць статычнай памылкі кампенсавання прыводзіць да таго, што ў контуры вымярэння I праходзіць недакампенсаваны ток. Пры гэтым чым большая вымяраемая тэрмаЭРС, тым большы гэты ток.

Выключыць гэту памылку ў прыладах, выкананых па статычнай аўтакампенсацийнай схеме, прынцыпова немагчыма, бо выхадны ток пераўтваральніка $I_{вых}$ і ток контура кампенсавання I_{zc} вызначаюцца наяўнасцю гэтай памылкі і прапарцыянальны ёй. У той жа час статычная памылка аўтакампенсацийнай схемы можа быць значна паменшана, калі выкарыстаць ўзмацняльнік з вялікім каэфіцыентам ўзмацнення.

Разгледзім матэматычную сувязь паміж вымяраемай тэрмаЭРС $E_{AB}(t, t_0)$ і выхадным токам пераўтваральніка $I_{вых}$.

На ўваход ўзмацняльніка Y_1 паступае напружанне

$$\Delta U = E_{AB}(t, t_0) - U_{\text{ср}}. \quad (3)$$

На выхадзе ўзмацняльнікаў Y_1 і Y_2 фарміруюцца адпаведна токі

$$I_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = k_1 \frac{\Delta U}{R_{y\hat{a}}}, \quad (4)$$

$$I_{\text{ср}} = k_2 I_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}}, \quad (5)$$

дзе k_1 і k_2 – каэфіцыенты ўзмацнення Y_1 і Y_2 ; $R_{y\text{в}}$ – супраціўленне ўваходнага ланцуга ўзмацняльніка Y_1 .

Падзенне напружання на рэзістары $R_{\text{зс}}$ складзе

$$U_{\text{ср}} = I_{\text{ср}} R_{\text{ср}} = k_2 I_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} R_{\text{ср}} \quad (6)$$

Тады з улікам (3), (4) і (6) можна запісаць

$$I_{y\hat{a}} \frac{R_{y\hat{a}}}{k_1} = E_{AB}(t, t_0) - k_2 I_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} R_{\text{ср}} \quad (7)$$

або

$$I_{\hat{a}\hat{u}\hat{o}} = E_{AB}(t, t_0) \frac{1}{\frac{R_{y\hat{a}}}{k_1} + k_2 R_{\text{ср}}} = E_{AB}(t, t_0) k, \quad (8)$$

дзе k – каэфіцыент пераўтварэння нармуючага пераўтваральніка.

У залежнасці ад дыяпазону ўваходнага сігнала нармуючыя пераўтваральнікі, якія працуюць у камплекце з ТЭП, маюць класы дакладнасці ад 0,4 да 1,5.

2.1.2. Нармуючы пераўтваральнік ТСП. Схема нармуючага пераўтваральніка, які працуе ў камплекце з тэрмапераўтваральнікам супраціўлення, паказана на мал. 2.2. Гэты пераўтваральнік па схеме і прынцыпу дзеяння аналагічны нармуючаму пераўтваральніку, які працуе ў камплекце з тэрмаэлектрычным пераўтваральнікам. Адрозненне паказаных схем заключаецца ў тым, што замест карэктуючага моста выкарыстоўваецца вымяральны нераўнаважаны мост, у адно з плячэй якога па трохпроваднай схеме ўключаны тэрмапераўтваральнік супраціўленняў. Астатнія супраціўленні выкананы з манганіну. Супраціўленне $R_{\text{с}}$ служыць для падгонкі супраціўлення злучальных правадоў да намінальнага значэння. Да дыяганалі сілкавання моста ab падведзена стабілізаванае напружанне пастаяннага току. Выхадны ток пераўтваральніка $I_{\text{вых}}$ прапарцыянальны напружанню U_{cd} у вымяральнай дыяганалі моста. Клас дакладнасці пераўтваральнікаў – 0,4–1,5.

2.1.3. Пераўтваральнік вымяральны ПТ-ТП-68. Прыбор прызначаны для лінейнага пераўтварэння тэрмаЭРС тэрмаэлектрычных

тэрмометраў тыпу ТХК, ТХА, ТПП, адпаведных шкале МПТШ₆₈, ва уніфікаваны выхадны сігнал пастаяннага току 0–5 мА.

Пераўтваральнік можа быць выкарыстаны з любымі другаснымі прыборамі і прыладамі, разлічанымі на ўваходны сігнал 0–5 мА, пры ўмове, што іх сумарнае супраціўленне з улікам супраціўлення лініі сувязі не перавышае 3125 Ом.

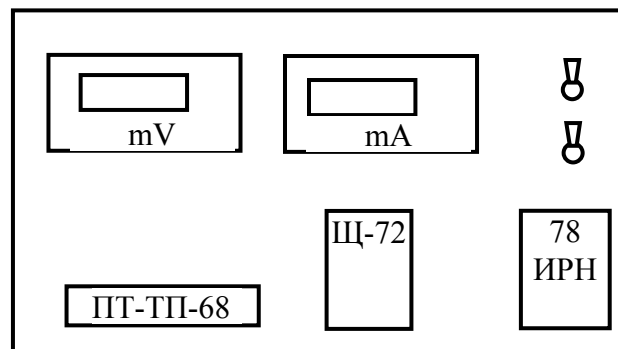
Пераўтваральнік мае гальванічны падзел паміж уваходным і выхадным ланцугамі, што дазваляе далучыць да яго выхаду тэрмапару з заземленым электродам. Пераўтваральнік валодае добрай абаронасцю ад наводак пераменнага напружання ў уваходным ланцугу, у сувязі з чым няма неабходнасці экранавання ланцугоў тэрмапары.

Час уваходжання пераўтваральніка ў клас пры змяненні ўваходнага сігналу скачком ад 0 да 100% або наадварот – не больш за 2,5 с.

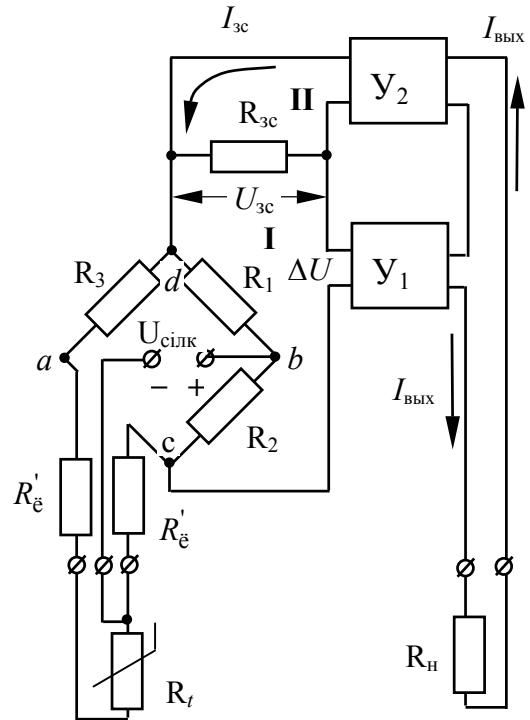
Пераўтваральнік выкананы па схеме статычнай аўтакампенсацыі (мал. 2.2).

2.2. Апісанне лабараторнай устаноўкі

У склад лабараторнай устаноўкі (мал. 2.3) уваходзяць: нарміруючыя пераўтваральнікі ПТ-ТП-68 і Щ-72; крыніца рэгулюемага напружання – КРН; мілівольтметр – мВ; міліамперметр – мА; пераключальнікі.



Мал. 2.3. Лабараторная ўстаноўка



Мал. 2.2. Схема нарміруючага пераўтваральніка для ТС

2.3. Парадак выканання работы

1. Вывучыць канструкцыю, прыныцы дзеяння і характарыстыкі нармуючых пераўтваральнікаў ПТ-ТП-68 і Щ-72.

2. Падключыць КРН, мілівальтметр і міліамперметр да пераўтваральніка ПТ-ТП-68.

3. Усталяваць неабходныя межы вымярэнняў мілівальтметра і міліамперметра.

4. Вызначыць па абзначэннях на прыборы тып тэрмапары, падключанай на ўваход пераўтваральніка.

5. Паслядоўна з дапамогай КРН падаць на ўваход пераўтваральніка напружанне E_0 , адпаведнае 0, 20, 40, 60, 80 і 100% шкалы.

6. Разлічыць намінальны выхадны ток пераўтваральніка па формуле

$$I_0 = kE_{уст}, \quad (9)$$

дзе $k = (I_{0max} - I_{0min}) / (E_{0max} - E_{0min})$; $(I_{0max} - I_{0min})$ і $(E_{0max} - E_{0min})$ – межы змяненняў выхаднога току і ўваходнага напружання; $E_{уст}$ – напружанне, вымеранае мілівальтметрам на ўваходзе пераўтваральніка.

7. Вымераць выхадны ток $I_{вым}$, адпаведны кожнаму з усталяваных на ўваходзе напружанняў $E_{уст}$.

8. Разлічыць прыведзеную хібнасць пераўтваральніка па формуле

$$\gamma = \frac{I_{\hat{a}i} - I_0}{I_{0max} - I_{0min}} \cdot 100\%. \quad (10)$$

9. Вынікі вымярэнняў і разлікаў запісаць у табл. 2.

Табліца 2

Вымераная тэмпература $t, ^\circ\text{C}$	ЭРС ТЭП, $E_0, \text{мВ}$	Устаноўленая ЭРС, $E_{уст}, \text{мВ}$	Намінальны выхадны ток, $I_0, \text{мА}$	Вымераны выхадны ток, $I_{вым}, \text{мА}$	Хібнасць, $\gamma, \%$

10. Паўтарыць п. 3–9 для пераўтваральніка Ш72-І.

2.4. Змест справаздачы

У справаздачы павінны быць прыведзены: тэхнічныя характарыстыкі вымяральных (нармуючых) пераўтваральнікаў; прыныцы-

повыя або структурныя схемы пераўтваральнікаў; табліца вынікаў паверкі ТП ПТ 68 і Ш72-І і вывады аб іх прыгоднасці да эксплуатацыі.

Кантрольныя пытанні

1. Пералічыць метралагічныя характарыстыкі СВ.
2. Для чаго прызначаны нармуючыя вымяральныя пераўтваральнікі?
3. У чым заключаецца прынцып работы пераўтваральнікаў?
4. Вызначыць тып першаснага пераўтваральніка і яго НСХ.

Лабораторная работа № 3

ДАСЛЕДАВАННЕ МЕТРАЛАГІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ЛАГОМЕТРАЎ І МАСТОЎ

Мэта работы: азнаямленне з прынцыпам дзеяння і канструкцыяй тэрмапераўтваральнікаў супраціўлення (ТС), лагометраў і вызначэнне іх метралагічных характарыстык.

3.1. Агульныя звесткі

3.1.1. Тэрмапераўтваральнікі супраціўленняў. Вымярэнне тэмпературы ТС заснавана на ўласцівасці праваднікоў і паўправаднікоў змяняць сваё электрычнае супраціўленне пры змяненні іх тэмпературы. Па прычыне рознага механізму праводнасці металы маюць дадатны тэрмічны каэфіцыент супраціўлення, а паўправаднікі ў асноўным – адмоўны. Адчувальны элемент металічнага ТС складаецца з тонкага (каля 0,05 мм) дроту, біфілярна намотанага на каркас і змешчанага ў металічны ахоўны чохол з галоўкай для падлучэння злучальных правадоў. Такія тэрмометры выкарыстоўваюцца як рабочыя і эталонныя сродкі вымярэнняў. У апошні час шырокае распаўсюджанне атрымалі ЧЭ, якія ўяўляюць сабой ЧЫП-рэзістары. У іх метал напыляецца вельмі тонкім слоem, і таму супраціўленне пры 0°C можа быць дастаткова высокім (да 10 кОм), што павялічвае іх адчувальнасць. Аднак максімальная вымяраемая тэмпература такіх ЧЭ у асноўным не перавышае 150–300°C (рэдка 500°C).

Для вымярэння тэмператур выкарыстоўваюцца ТС з металаў, якія валодаюць высокастабілізаваным тэмпературным каэфіцыентам супраціўлення, лінейнай залежнасцю супраціўлення ад тэмпературы, добрай аднаўляльнасцю ўласцівасцей і інертнасцю да ўздзеяння навакольнага асяроддзя. Такім патрабаванням у найбольшай ступені задавальняюць плаціна і медзь. Супраціўленне плацінавых ТС у дыяпазоне тэмператур ад 0 да +750°C выражаецца суадносінай

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2), \quad (1)$$

дзе R_0 – супраціўленне ТС пры 0°C; t – вымяраемая тэмпература, °C; A і B – каэфіцыенты, якія залежаць ад тыпу намінальнай статычнай характарыстыкі (НСХ):

$$A = 3,96\ 847 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}, \quad B = -5,847 \cdot 10^{-7} \text{ – для градуіроўкі } P'_t;$$

$$A = 3,90\ 802 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}, \quad B = -5,802 \cdot 10^{-7} \text{ – для градуіроўкі } P_t.$$

Пры разліку супраціўлення медных ТС у дыяпазоне тэмператур ад -50 да $+180^{\circ}\text{C}$ можна карыстацца формулай

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (2)$$

дзе $\alpha = 4,26(4,28) \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$.

Медныя ТС выкарыстоўваюцца пры тэмпературы да 200°C , паколькі пры больш высокіх тэмпературах пачынаецца інтэнсіўнае акісленне медзі.

Ток, які праходзіць праз ТС, не павінен выклікаць яго дадатковае разаграванне і складае, як правіла, 1 mA .

Адчувальнасць ТС залежыць ад α і R_0 .

Тэхнічныя характарыстыкі прамысловых ТС, якія выпускаюцца па ДАСТ 6651, прыведзены ў табл. 1.

Табліца 1

Тэхнічныя характарыстыкі прамысловых ТС

Матэрыял	Тып НСХ	W100	Хібнасць, Δ , $^{\circ}\text{C}$	Супраціўленне ТС пры 0°C
Плаціна	Гр21 (уст)	1,391	A: $\Delta = \pm(0,15 + 2 \cdot 10^{-3}t)$	46,0
	50П (уст)	1,391	B: $\Delta = \pm(0,3 + 5 \cdot 10^{-3}t)$	50,0
	Pt	1,385	C: $\Delta = \pm(0,6 + 8 \cdot 10^{-3}t)$	10, 100, 500
	Pt' (II)	1,391		
Медзь	Гр23 (уст)	1,428	B: $\Delta = \pm(0,25 + 3,3 \cdot 10^{-3}t)$	53,0
	Cu	1,426	C: $\Delta = \pm(0,5 + 6,5 \cdot 10^{-3}t)$	100, 500
	Cu' (M)	1,428		

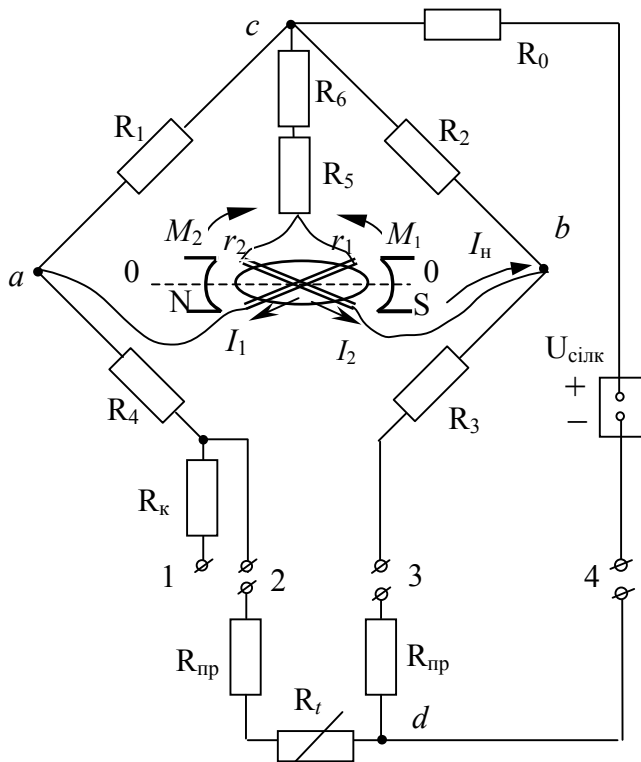
Эталонныя тэрмометры маюць $R_0 = 10 \text{ Ом}$.

Паўправадніковыя ТС маюць нелінейную статычную характарыстыку, якая апісваецца прыблізнай залежнасцю

$$R_t = R_0 e^{\frac{1}{(t_0 - t)}}. \quad (3)$$

Дыяпазон вымярэнняў – ад -100 да $+400^{\circ}\text{C}$. Перавагай паўправадніковых ТС з'яўляецца высокая адчувальнасць, бо R_0 можа дасягаць дзясяткаў кілаом.

Дыяпазон вымярэнняў паўправадніковых ТС з дадатным тэмпературным каэфіцыентам (пазістараў) складае $0-200^{\circ}\text{C}$.



Мал. 3.1. Прынцыповая электрычная схема магнітаэлектрычнага лагометра

3.1.2. Лагометры. Прыборы выкарыстоўваюцца для работы ў камплекце з ТС.

Рухомая сістэма прыбора (мал. 3.1) – дзве цвёрда случаныя паміж сабой пад вострым вуглом рамкі з супраціўленнямі r_1 і r_2 , якія свабодна паварочваюцца ў падпятніках. Рамкі рухаюцца ў зазоры паміж стрыжнем і палюсамі N і S пастаяннага магніта. Гэты зазор мае пераменнае сячэнне, якое павялічваецца ад цэнтра (вось 0–0) да бакоў. У выніку гэтага магнітная індукцыя ў зазоры адпаведна ад цэнтра да бакоў памяншаецца. Для павелічэння ад-

чувальнасці рамкі ўключаны ў маставую электрычную схему такім чынам, каб іх вярчальныя моманты M_1 і M_2 былі накіраваны насустрач адзін аднаму.

Акрамя таго, наміналы элементаў моста падбіраюцца такім чынам, каб мост быў ураўнаважаны пры супраціўленні ТС, адпаведным сярэдзіне шкалы. Такім чынам, ток, які праходзіць па рамках, вызначаецца падзеннем напружання на адпаведным плячы моста (ca або cb) і токам разбалансу I_n , які працякае ў вымяральной дыяганалі.

Няхай мост ураўнаважаны (вымяраемая тэмпература адпавядае сярэдзіне шкалы). Пры павелічэнні вымяраемай тэмпературы павялічыцца супраціўленне тэрмометра R_t . Пры гэтым падзенне напружання U_{ad} павялічыцца, а падзенне напружання U_{ac} адпаведна паменшыцца. Такім чынам, паменшыцца абумоўленая U_{ac} складальная току I_{1ac} , які праходзіць па першай рамцы. У той жа час патэнцыял пункта a стане вышэй за патэнцыял пункта b , што прывядзе да з'яўлення току небалансу I_n . Напрамак гэтага току процілеглы напрамку I_{1ac} і супадае з напрамкам I_{2cb} . У выніку ток I_1 яшчэ больш паменшыцца, а ток I_2 – павялічыцца.

Такім чынам, павялічыцца момант

$$M_2 = K_2 B_2 I_2, \quad (4)$$

які стане большы за момант

$$M_1 = K_1 B_1 I_1. \quad (5)$$

З'явіцца рознасць момантаў

$$M = M_1 - M_2 = K_1 B_1 I_1 - K_2 B_2 I_2, \quad (6)$$

дзе K_1 і K_2 – канструкцыйныя пастаянныя.

Пад дзеяннем рознасці момантаў рухомая сістэма пачне паварочвацца па гадзіннікавай стрэлцы. Пры гэтым першая рамка будзе рухацца ў зазор з большай магнітнай індукцыяй і момант M_1 пачне павялічвацца. Другая рамка трапляе ў зазор з меншай магнітнай індукцыяй, і момант M_2 памяншаецца. Пры некаторым становішчы рамак M_1 зноў стане роўным M_2 . Наступіць раўнавага рухомай сістэмы, вызначаная суадносінай токаў:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{K_2 B_2}{K_1 B_1} = F(\alpha) \quad (7)$$

або

$$\alpha = \frac{I_1}{I_2}, \quad (8)$$

дзе α – вугал павароту рамак.

Пасля шэрагу пераўтварэнняў можна паказаць, што $\alpha = f(R_t)$. Таму паказанні лагометра не залежаць ад напружання сілкавання пры яго ваганні ў межах +20% ад намінальнага.

Для памяншэння ўплыву тэмпературы на злучальныя правады ТС падлучаюцца па трохпроваднай схеме. Супраціўленне R_5 прызначана для ўстаноўкі межаў вымярэння, R_6 – меднае супраціўленне для кампенсавання ўплыву тэмпературы навакольнага асяроддзя на рамкі лагометра. У адрозненне ад ураўнаважаных мастоў у $R_{пр}$ лагометраў для двух- і трохпроваднай схемы знешняе супраціўленне $R_{пр}$ стандартызуецца. Звычайна для першай схемы

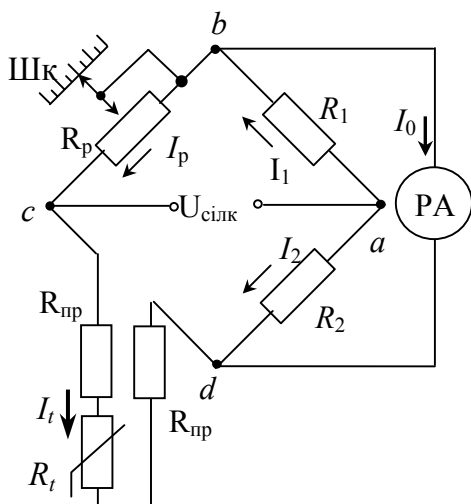
$$R_{пр} = 2,5 + 0,01 \text{ Ом і } R_{пр} = 7,5 + 0,03 \text{ Ом},$$

а для другой схемы

$$R_{пр} = 5 + 0,02 \text{ Ом і } R_{пр} = 15 + 0,06 \text{ Ом}.$$

Значэнні $R_{пр}$ паказваюцца на шкале і ў пашпарце прыбора.

Сучасныя лагометры выпускаюцца наступных тыпаў: Ш69001, Ш69006, Л-64 і інш.



Мал. 3.2. Схема ўраўнаванага моста

3.1.3. Ураўнавананыя мосты. У большасці выпадкаў у камплекце з ТС працуюць ураўнавананыя мосты пастаяннага або пераменнага току. Спрошчанае электрычнае схема паказана на мал. 3.2.

Мост складаецца з двух пастаянных супраціўленняў R_1 і R_2 , рэахорда R_p і супраціўлення тэрмометра R_t . Супраціўленні злучальных правадоў R_{pp} дадаюцца да супраціўлення R_t . У адну дыяганаль моста ўключана крыніца сілкавання, а ў другую – нуль-прыбор ПА. Пры раўнавазе моста, якая дасягаецца перамяшчэннем рухавічка па рэахордзе R_p , ток у вымяральной дыяганалі моста $I_0 = 0$. У гэтым выпадку патэнцыялы на вяршынях моста b і d роўныя, ток ад крыніцы сілкавання разгаліноўваецца ў вяршыні моста a на дзве галіны – I_1 і I_2 , падзенне напружання на рэзістарах R_1 і R_2 аднолькавае, г. зн.

$$I_1 R_1 = I_2 R_2. \quad (9)$$

Падзенні напружанняў на плячах моста bc і dc таксама роўныя:

$$I_p R_p = I_t (R_t + 2R_{pp}). \quad (10)$$

Калі падзяліць (4) на (5), атрымаем

$$\frac{I_1 R_1}{I_p R_p} = \frac{I_2 R_2}{I_t (R_t + 2R_{pp})}. \quad (11)$$

Калі $I_0 = 0$ то $I_1 = I_p$ і $I_2 = I_t$. Тады з ураўнення (11) атрымаем:

$$R_1 (R_t + 2R_{pp}) = R_2 R_{\delta*}. \quad (12)$$

Ураўненне (12) выяўляе ўмову раўнавагі моста: здабытак супраціўленняў процілеглых плячэй роўны. Пад R_{pp} разумеецца велічыня супраціўлення незашунтаванай часткі рэахорда R_p .

З (12) вынікае, што

$$R_t = \frac{R_p R_2}{R_1} - 2R_{pp}. \quad (13)$$

Калі $R_2 = R_1$, атрымаем

$$R_T = R_{p*} - 2R_{пр} \quad (14)$$

Пры змяненні супраціўлення R_T раўнавага моста парушаецца. Аднавіць яго можна аднавіць шляхам змены велічыні супраціўлення рэахорда R_{p*} .

Пры гэтым становішча рухавічка рэахорда будзе адпавядаць вымяраемай тэмпературы, якую вызначаюць па шкале прыбора Шк. Гэта справядліва, калі ваганні тэмпературы асяроддзя, у якім размешчаны злучальныя правады з супраціўленнем $2R_{пр}$, не істотныя. У тых выпадках, калі змяненне тэмпературы ў зоне злучальных правадоў можа быць значным і хібнасць вымярэнняў можа перавысіць дапушчальную велічыню, ужываюць трохправадную сістэму падключэння ТС.

У гэтай схеме (мал. 3.3) провад ад крыніцы сілкавання адключаецца ад пункта c моста і падключаецца да пункта c' , падзяляючы правады з супраціўленнем $R_{пр}$ у сумежныя плечы. Пры такім злучэнні супраціўленне аднаго проваду даецца да тэрмарэзістара, а другога – да R_p .

Ураўненне (7) прыме выгляд

$$R_T + R_{пр} = R_{p*} + R_{пр} \quad (15)$$

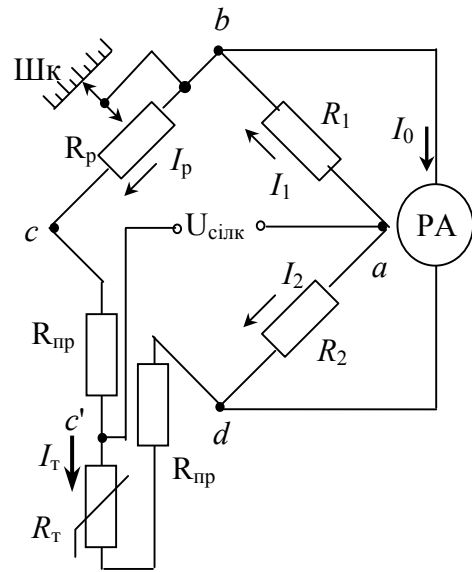
або (пры $R_1 = R_2$)

$$R_T = R_{p*}, \quad (16)$$

г. зн. змяненне велічыні R_T пад дзеяннем вымяраемай тэмпературы будзе вызначацца змай становішча рухомага кантакта рэахорда.

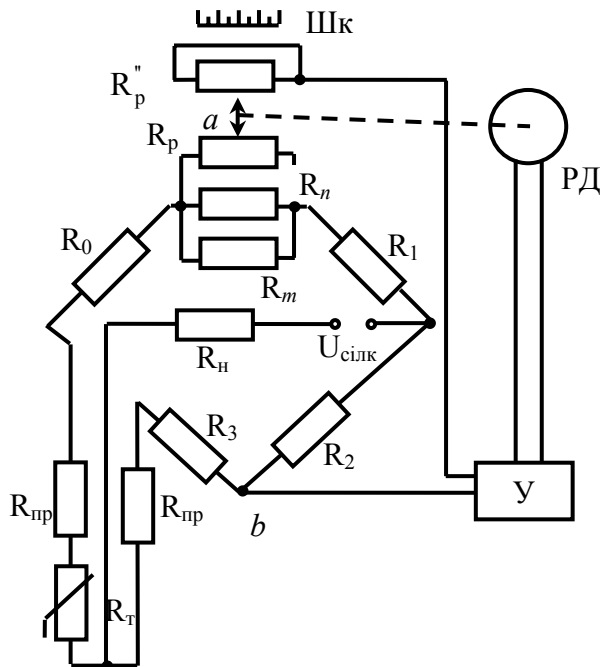
3.1.4. Аўтаматычныя электронныя масты. Прынцыповая схема аўтаматычнага ўраўнаважанага электроннага моста прыведзена на мал. 3.4.

Усе супраціўленні вымяральнай схемы (акрамя тэрмометра R_T) выкананы з манганіну (сплаў, супраціўленне якога не залежыць ад тэмпературы). Вымяральная схема ўяўляе сабой чатырохплечы мост,



Мал. 3.3. Трехпроводная схема падключэння ТС

у адно з плячэй якога ўключаны R_T . У адну дыяганаль моста падводзіцца пераменнае напружанне, у другую ўключаны электронны ўзмацняльнік $У$. R_n – дадатковы рэзістар для падгонкі току, які праходзіць праз тэрмометр; R_n – падгонкавы рэзістар рэахорда; R_m – шунт рэахорда, R_0 – рэзістар для падгонкі току пры ўмове мінімальнага саманагрэву ТС.



Мал. 3.4. Прынцыповая схема аўтаматычнага моста

Найменш надзейным элементам схемы з'яўляецца рухомы кантакт рэахорда, супраціўленне якога можа змяняцца ў выніку сцірання, забруджвання і г. д. Пры указаным на схеме спосабе ўключэння рэахорда пераходнае супраціўленне кантакта размяшчаецца ў вымяральной дыяганалі і ў момант раўнавагі з-за адсутнасці току не адлюстроўваецца на выніку вымярэння. Становішча рухавічка рэахорда залежыць ад велічыні R_T наступным чынам:

$$m = \Delta R_T \frac{R_2}{R_p (R_T + R_{пр} + R_2)}, \quad (17)$$

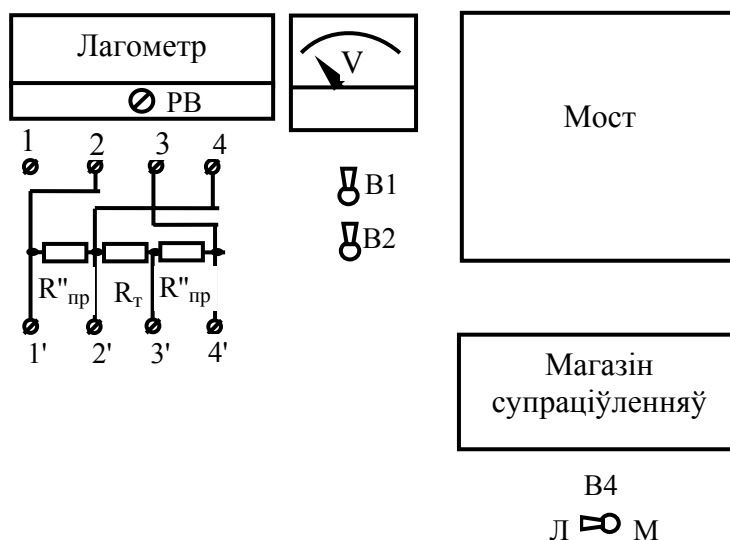
дзе m – адноснае становішча рухавічка.

Аднак у гэтым выпадку не атрымоўваецца цалкам кампенсаваць уплыў тэмпературы навакольнага асяроддзя на злучальныя правады.

Шунтаванне R_p супраціўленнямі R_m і R_n з мэтай атрымання патрэбнага дыяпазону вымярэння робіць (17) нелінейнай. Памяншэнне нелінейнасці дасягаецца ўводам ў схему дадатковага рэахорда R_p'' . Адначасова з перамяшчэннем рухомага кантакта рэахорда перамяшчаецца карэтка з паказальнікам уздоўж шкалы так, што кожнаму становішчу кантакта адпавядае ўстаноўленае становішча паказальніка на шкале. У якасці нуля-прыбора ў аўтаматычным мосце выкарыстоўваецца электронны ўзмацняльнік $У$ і рэверсіўны рухавік РР. Пры змяненні тэмпературы змяняецца супраціўленне R_T , раўнавага моста парушаецца і на

дывяганалі маста ab узнікае напружанне разбалансу, якое падаецца на ўваход электронага ўзмацняльніка. Фаза гэтага напружання залежыць ад таго, паменшылася або павялічылася супраціўленне R_T . Сігнал разбалансу ўзмацняецца да велічыні, дастатковай для прывядзення ў дзеянне рэверсіўнага рухавіка РР, які кінематычна звязаны з карэткай і рухомым кантактам рэахорда R_p . Рух кантакта рэахорда адбываецца, пакуль вымяральная схема не прыйдзе ў раўнавагу ($U_{ab} = 0$). Рухавік РР спыняецца, а рухомы кантакт рэахорда і карэтка з паказальнікам займаюць становішча, якое адпавядае вымяраемай тэмпературы. Шматкропковы аўтаматычны мост забяспечаны пераключальнікам, з дапамогай якога да вымяральнай схемы падключаюцца па чарзе ўсе далучаныя да прыбора тэрмапераўтваральнікі супраціўленняў.

3. 2. Апісанне лабараторнай устаноўкі



Мал. 3.5. Схема лабараторнай устаноўкі

У склад лабараторнай устаноўкі ўваходзяць: лагометр Ш69001, аўтаматычны мост КСП-4, магазін супраціўленняў для імітацыі ТС, пераключальнікі В1–В5, вальтметр.

3. 3. Парадак выканання работы

1. Азнаёміцца з канструкцыяй і тэхнічнымі характарыстыкамі ТС.
2. Разгледзець канструкцыю, прынцыповую схему і тэхнічныя характарыстыкі лагометраў.

3. Азнаёміцца са схемай лабараторнай устаноўкі (мал. 3.5).
4. Уключыць прыбор і даць яму прагрэцца.
5. Вывучыць канструкцыю, тэхнічныя характарыстыкі і схемы ўключэння лагометраў.
6. Разгледзець схему паверкі лагометра і абсталяванне стэнда.
7. Вызначыць хібнасць лагометра ў адзнаках шкалы, указаных выкладчыкам, па формуле

$$\gamma_{i \delta(\text{сá})} = \frac{\Delta R_{i \delta(\text{сá})}}{R_{0\text{max}} - R_{0\text{min}}} \cdot 100\% = \frac{R_{i \delta(\text{сá})} - R_0}{R_{0\text{max}} - R_{0\text{min}}} \cdot 100\%, \quad (18)$$

дзе $R_{0\text{max}}$ і $R_{0\text{min}}$ – супраціўленні адпаведна максімальнай і мінімальнай вымяраемай тэмпературы.

8. Паверку правесці пры прамым і зваротным хадах. Вынікі занесці ў табл. 2.

Табліца 2

Паказанні лагометра, $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Велічыня градуіровачнага супраціўлення, $R_0, \text{ Ом}$	Паказанні магазіна супраціўлення, Ом		Абсалютная хібнасць павяраемага прыбора, Ом		Адносная прыведзеная хібнасць, %	
		прамы ход, $R_{\text{пр}}$	зваротны ход, $R_{\text{зв}}$	прамы ход, $\Delta R_{\text{пр}}$	зваротны ход, $\Delta R_{\text{зв}}$	прамы ход, $\gamma_{\text{пр}}$	зваротны ход, $\gamma_{\text{зв}}$

9. Вызначыць хібнасць сігналізацыі. Для гэтага з дапамогай адвёрткі ўстанавіць чырвоную стрэлку ў становішча, паказанае выкладчыкам. Павялічваючы велічыню супраціўлення магазіна супраціўленняў, дабіцца загарання індыкатара (уключэнне павінна адбыцца пры змене самага меншага разраду на магазіне супраціўленняў). Далей, памяншаючы супраціўленне, дабіцца выключэння індыкатара. Атрыманыя вынікі запісаць у табл. 3.

Табліца 3

Устаноўленая мяжа		Сігналізацыя				Гістэрэзіс, $H_c, \%$
		Ом		$^\circ\text{C}$		
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$R_0, \text{ Ом}$	прамы ход, $R_{\text{укл}}$	зваротны ход, $R_{\text{адкл}}$	прамы ход, $t_{\text{укл}}$	зваротны ход, $t_{\text{адкл}}$	

10. Вызначыць тэмпературу спрацоўвання сігналацыі па формуле

$$t_{\text{ср}} = t_{\text{н}} + S(R_{\text{ср}} - R_{\text{н}}), \quad (19)$$

дзе $S = \Delta t / \Delta R$ – адчувальнасць лагометра.

11. Вызначыць гістэрэзіс сігналацыі па формуле

$$H_c = \frac{R_{\text{ср}} - R_{\text{н}}}{R_{0\text{max}} - R_{0\text{min}}} \cdot 100\%. \quad (20)$$

12. Вызначыць уплыў на паказанні велічыні напружання сілкавання. Для гэтага з дапамогай магазіна супраціўлення ўстанавіць стрэлку лагометра на адзнаку, паказаную выкладчыкам. Запісаць у табліцу паказанні магазіна супраціўлення (R_{220}). Пераключальнік «220–180» устанавіць у становішча «180». Вярнуць стрэлку ў зыходнае становішча з дапамогай магазіна супраціўлення. Вынік (R_{180}) запісаць у табл. 4.

Табліца 4

Устанаўліваемая тэмпература, °С	Намінальнае супраціўленне, R_0	Вымеранае супраціўленне		Вымераная тэмпература		Дадатковая хібнасць, $\gamma_{\text{дад}}$, %
		R_{220}	R_{180}	t_{220}	t_{180}	

13. Вызначыць дадатковую хібнасць, якая ўзнікае пры змяненні напружання сілкавання, па формуле

$$\gamma_{\text{дад}} = \frac{\Delta t}{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}} \cdot 100\% = \frac{t_{180} - t_{220}}{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}} \cdot 100\%. \quad (21)$$

Значэнні t_{220} , t_{180} вызначыць, выкарыстоўваючы адчувальнасць лагометра.

14. Азнаёміцца з канструкцыяй, прынцыповай схемай і тэхнічнымі характарыстыкамі электронных аўтаматычных мастоў.

15. Устанавіць на магазіне супраціўлення значэнне, якое адпавядае супраціўленню для зададзенай градуіроўкі ТС (градуіроўку вызначыць па шкале аўтаматычнага маста).

16. Уключыць прыбор і даць яму прагрэцца.

17. Устанавіць стрэлку моста на 0, змяняючы супраціўленне магазіна. Запісаць атрыманае значэнне ў табл. 5.

Табліца 5

Паказанні павяраемага моста, °С	Сапраўднае значэнне, R_0 , Ом	Паказанні магазіна супраціўленняў, Ом		Абсалютная хібнасць павяраемага прыбора, Ом		Прыведзеная хібнасць	
		прамы ход, $R_{пр}$, Ом	зваротны ход, $R_{зв}$, Ом	прамы ход, $\Delta R_{пр}$, Ом	зваротны ход, $\Delta R_{зв}$, Ом	прамы ход, $\gamma_{пр}$, %	зваротны ход, $\gamma_{зв}$, %

18. Паслядоўна з дапамогай магазіна супраціўленняў устанавіць стрэлку прыбора на адзнацы шкалы, указанай выкладчыкам. Вымярэнні правесці пры прамым (павелічэнне значэнняў) і зваротным (памяншэнне значэнняў) хадах.

19. Вызначыць абсалютную і прыведзеную хібнасці і варыяцыю электроннага моста па формулах:

$$\Delta R_{пр(зв)} = R_{пр(зв)} - R_0, \quad (22)$$

$$\gamma = \frac{\Delta R_{пр(зв)}}{R_в - R_н} \cdot 100\%, \quad (23)$$

$$H = \frac{R_{пр} - R_{зв}}{R_в - R_н} \cdot 100\%, \quad (24)$$

дзе $R_{пр}$ і $R_{зв}$ – супраціўленні, адпаведныя аднаму і таму ж становішчу стрэлкі пры прамым і зваротным хадах; R_0 – сапраўднае значэнне супраціўлення (таблічнае).

3. 4. Змест справаздачы

Справаздача па дадзенай рабоце павінна змяшчаць: прынцыповыя электрычныя схемы лагометра і моста; табліцы вынікаў паверкі і вылічэнняў; вывады аб прыгоднасці прыбораў да эксплуатацыі шляхам параўнання класа дакладнасці прыбораў з максімальна дапушчальнай хібнасцю.

Кантрольныя пытанні

1. На якім прынцыпе заснавана вымярэнне тэмпературы з дапамогай тэрмапераўтваральнікаў супраціўленняў?
2. У якіх выпадках выкарыстоўваюць двух- і трохпровадныя схемы падключэння ТС?
3. Растлумачыць прынцып дзеяння лагометра? Для чаго рамкі ўключаюцца ў маставую схему?
4. На якім прынцыпе заснавана дзеянне электроннага моста? Назваць ўласцівасці маставых схем.
5. Ці ўплывае супраціўленне злучальных правадоў на паказанні мастоў і лагометраў?
6. Якія метралагічныя характарыстыкі вызначаюцца пры паверцы?

Лабараторная работа № 4

ДАСЛЕДАВАННЕ ДЫНАМІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ТЭРМАПЕРАЎТВАРАЛЬНІКАЎ СУПРАЦІЎЛЕННЯ

Мэта работы: азнаямленне з прынцыпам дзеяння і канструкцыяй тэрмапераўтваральнікаў супраціўлення (ТС), лагометраў і вызначэнне іх дынамічных характарыстык.

4.1. Агульныя звесткі

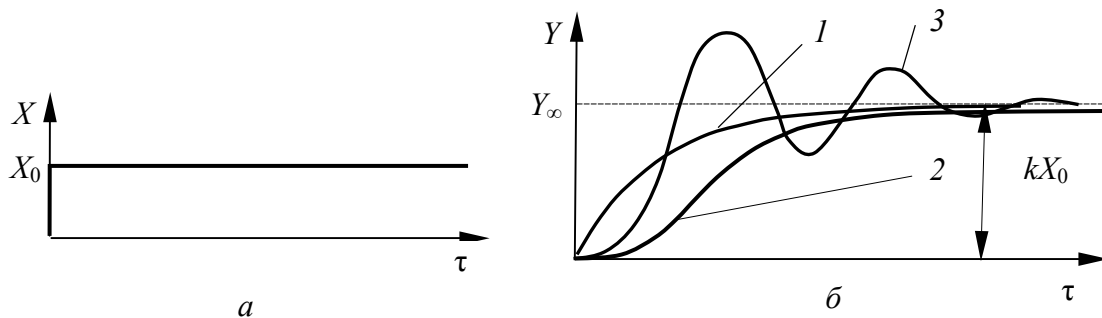
Амаль усе сродкі вымярэнняў (СВ) маюць элементы, якія валодаюць механічнай, цеплавой або іншай інерцыяй, у выніку чаго велічыня сігнала на выхадзе $Y(\tau)$ залежыць не толькі ад велічыні ўваходнага сігнала $X(\tau)$, але і ад яго формы (хуткасці змянення) і часу. Інерцыйныя ўласцівасці СВ вызначаюцца дынамічнымі характарыстыкамі, якія апісваюцца дыферэнцыяльнымі ўраўненнямі выгляду

$$a_n \frac{d^n Y(\tau)}{d\tau^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} Y(\tau)}{d\tau^{n-1}} + \dots + Y(\tau) = kX(\tau) \quad (1)$$

або адпаведнай перадаткавай функцыяй

$$W(p) = \frac{k}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + 1}, \quad (2)$$

дзе a_1, a_2, \dots, a_n – каэфіцыенты, вызначаныя з пачатковых умоў; k – адчувальнасць СВ.



Мал. 4.1. Часавыя характарыстыкі СВ:

a – уваходная велічыня; b – выхадныя велічыні; 1 – аперыядычны ланцуг першага парадку; 2 – аперыядычны ланцуг другога парадку; 3 – вагальнае зв'язно

У залежнасці ад формы сігнала, які падаецца на ўваход СВ пры даследаванні яго дынамічных уласцівасцей, адрозніваюць часавыя

(пераходныя), імпульсныя і частотныя характарыстыкі. Для пабудовы часовай характарыстыкі на ўваход СВ падаецца ступеньчатае ўздзеянне, амплітуда якога прынята за адзінку (мал. 4.1, а). Форма часовай характарыстыкі вызначаецца дынамічнымі ўласцівасцямі СВ і можа мець выгляд, паказаны на мал. 4.1, б).

Дынамічныя ўласцівасці тэрмометра залежаць ад яго канструкцыі і ўмоў цеплаабмену з навакольным асяроддзем. Калі не ўлічваць уплыў корпуса 2 (мал. 4.2), то часавая характарыстыка тэрмометра, усталяванага без ахоўнага чохла, можа быць апісана дыферэнцыяльным ураўненнем першага парадку (крывая 1, мал. 4.1, б), рашэннем якога з'яўляецца залежнасць

$$Y(\tau) = k(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}), \quad (3)$$

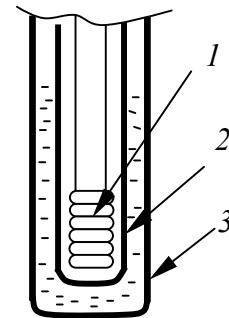
дзе k – адчувальнасць тэрмометра; T – пастаянная часу, якая прама прапарцыянальная цеплаёмкасці c і масе m адчувальнага элемента і адваротна прапарцыянальная плошчы цеплаабмену F і каэфіцыенту цеплааддачы α вымяраемага асяроддзя да тэрмометра:

$$T = \frac{cm}{\alpha F}. \quad (4)$$

У шэрагу выпадкаў для прадухілення механічных пашкоджанняў тэрмометры змяшчаюць у ахоўны чохол (мал. 4.2). Аднак гэта пагаршае іх дынамічныя характарыстыкі, што можа быць часткова кампенсавана запаўненнем прасторы паміж тэрмометрам і чохлом маслам. Дынамічная характарыстыка такога тэрмометра апісваецца дыферэнцыяльным ўраўненнем больш высокага парадку (крывая 2, мал. 4.1, б).

Часта атрымаць дакладную дынамічную характарыстыку аналітычна немагчыма з-за складанай узаемнай залежнасці велічынь, якія ўваходзяць ва ўраўненне, і яе вызначаюць эксперыментальна. Пры гэтым для спрашчэння разлікаў аперыядычныя звёны высокіх парадкаў замяняюць камбінацыяй двух звёнаў – чыстага запазнення і аперыядычнага першага парадку:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{Tp + 1} \quad (5)$$



Мал. 4.2.
Канструкцыя тэрмометра супраціўленняў:
1 – адчувальны элемент; 2 – корпус тэрмометра;
3 – ахоўны чохол

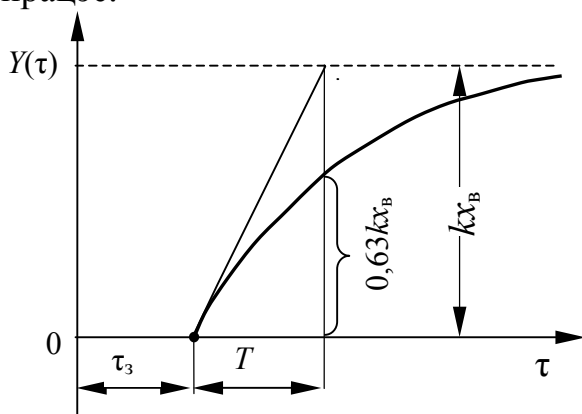
або звёнамі чыстага запазнення і аперыядычнага другога парадку:

$$W(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}. \quad (6)$$

Пры правядзенні эксперыменту тэрмометр з асяроддзя з адной тэмпературай хутка перамяшчаюць у асяроддзе з другой тэмпературай і фіксуюць паказанні праз малыя прамежкі часу. Далей атрыманы вынік прыводзяць да безразмернага выгляду:

$$Y(\tau) = \frac{t(\tau) - t_0}{t_\infty - t_0}, \quad (7)$$

дзе $t(\tau)$, t_0 і t_∞ – бягучае, пачатковае і новае ўстаноўленае значэнне тэмпературы, і будуць графік залежнасці $Y = f(\tau)$ – пераходны працэс.



Мал. 4.3. Эксперыментальнае вызначэнне дынамічных характарыстык звяна першага парадку

Далей па выглядзе крывой выбіраюць дынамічную мадэль (5) або (6) і вызначаюць яе параметры.

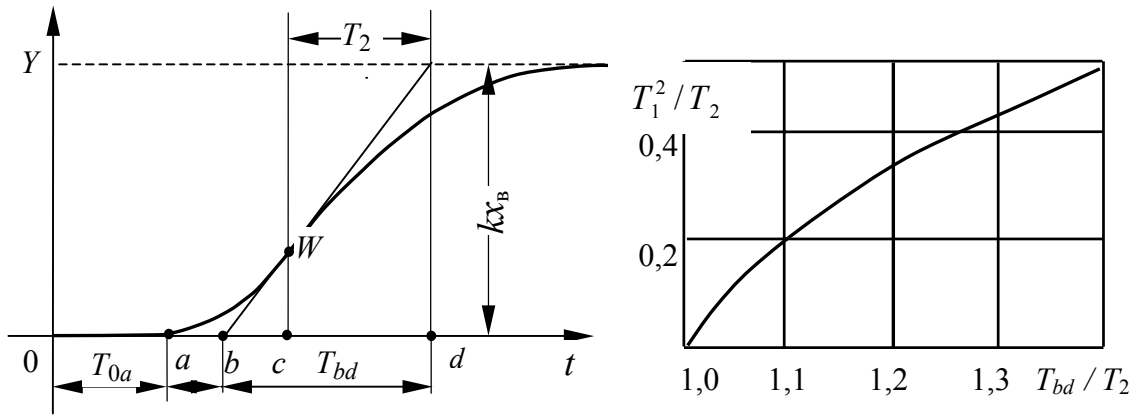
Графічная пабудова датычнай можа быць выканана са значнай хібнасцю, таму за пастаянную часу прымаюць час, за які выхадная велічыня дасягнула значэння $0,63Y_\infty$.

Калі пераходны працэс мае выгляд крывой 2 (мал. 4.1, б), то могуць быць выкарыстаны залежнасці і (5), і (6). Датычную

да крывой праводзяць у пункце максімальнай хуткасці змены выхадной велічыні (пункт перагібу W) да перасячэння з воссю абсцыс і лініяй, адпаведнай новаму ўстаноўленаму значэнню (мал. 4.3).

Калі пераходны працэс мае выгляд крывой 1 (мал. 4.1, а), то праводзяць датычную ў пункце $Y(\tau) = 0$ да перасячэння з лініяй $Y(\tau) = Y_\infty$ і знаходзяць значэнне часу запазнення τ_3 і пастаянную часу T (мал. 4.3).

Калі прымаюць мадэль (5), то час запазнення $\tau_3 = T_{0b}$, а пастаянная часу $T = T_{bd}$. Калі прынята мадэль (6), то час запазнення $\tau_3 = T_{0a}$, T_1 вызначаецца па графіку (мал. 4.4) у залежнасці ад суадносіны T_{bd} / T_2 , а $T_2 = T_{cd}$.



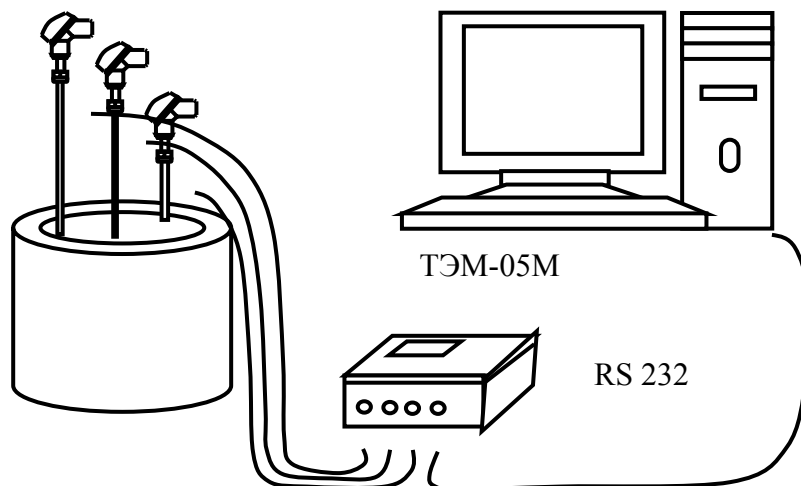
Мал. 4.4. Экспериментальне визначення динамічних характеристик зв'язки другого парадку

4. 2. Апісанне лабораторной устаноўкі

Лабораторная ўстаноўка складаецца з плацінавых тэрмометраў супраціўлення, цеплалічальніка ТЭМ-05М/2, тэрмастата і камп'ютэра. Тэрмометры супраціўленняў маюць розную канструкцыю пры аднолькавай градуіроўцы. Два з тэрмометраў змешчаны ў ахоўныя чохлы рознай канструкцыі, а адзін з тэрмометраў выкарыстоўваецца без чохла.

Усе тэрмометры падключаны да цеплалічальніка ў адпаведнасці з інструкцыяй па эксплуатацыі.

Цеплалічальнік злучаны з паслядоўным портам RS 232 ЭВМ і кожныя 4 с перадае значэнні вымераных тэмператур, а таксама час вымярэння.



Мал. 4.5. Схема лабораторной устаноўкі

Праграма, якая ўстаноўлена на ЭВМ, дазваляе запісаць прынятыя даныя ў тэкставы файл, які можа быць выкарыстаны пры разліках у пакеце Mathcad.

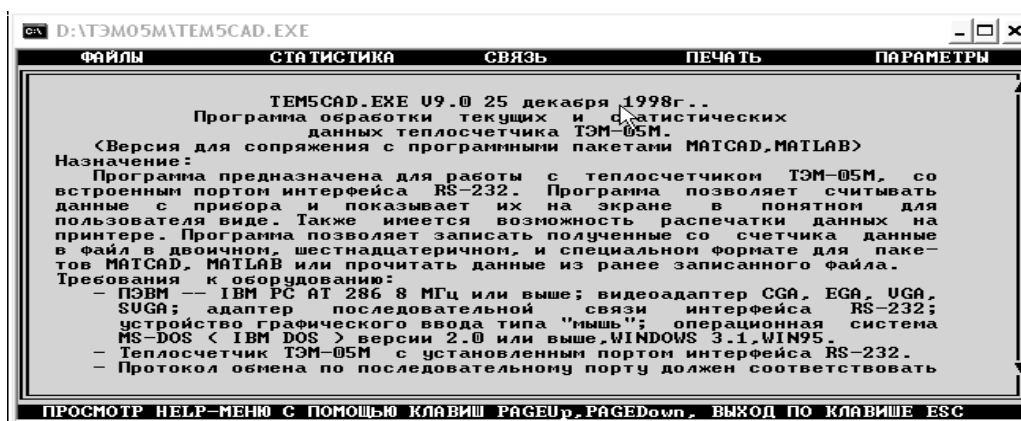
4.3. Парадак выканання работы

1. Правярць схему падключэння тэрмометраў да цеплалічыльніка.

2. Уключыць цеплалічыльнік і ўпэўніцца, што паказанні тэрмометраў t_1 , t_2 і t_3 , якія вымяраюць тэмпературу паветра ў памяшканні, маюць блізкія значэнні.

3. Уключыць тэрмастат і ўстанавіць тэмпературу вады ў межах ад 40 да 60°C.

4. Запусціць праграму TEM5CAD.EXE. Пры гэтым на экране манітора з'явіцца акно

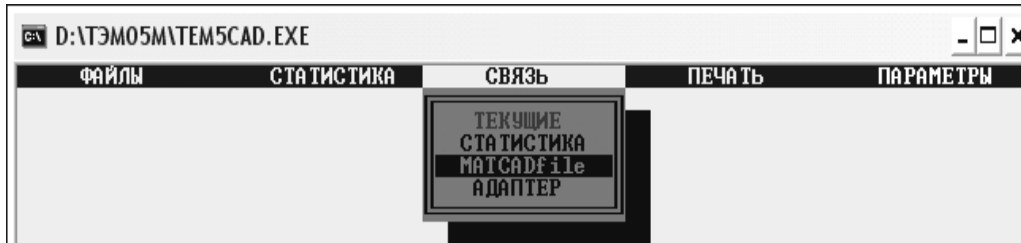


5. Націснуць клавiшу «Esc» і ў меню «Параметры» правярць нумар СОМ-порта, да якога падключаны цеплалічыльнік, хуткасць абмену (павінна быць 9600) і ўстанавіць з дапамогай левай кнопкі мышы лік вымераных значэнняў (адлікаў), які будзе запісвацца ў адзін файл. Для выхаду з меню націснуць клавiшу «Esc».

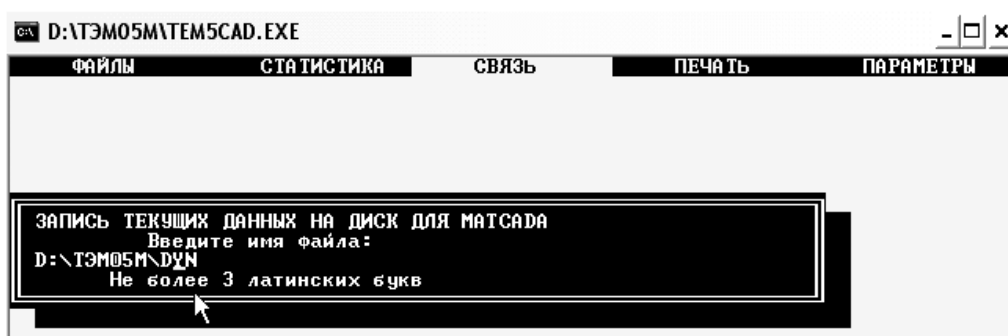


Пры ўстанаўленні колькасці адлікаў неабходна мець на ўвазе, што інтэрвал часу паміж адлікамі роўны 4 с, а ахаладжэнне тэрмометраў у паветры доўжыцца каля 20 хвіл.

6. Выбраць у меню «Связь» «MATCADfile» і націснуць «Enter».



7. У акне, якое з'явілася, задаць імя файла (не больш за 3 лацінскія літары), у які будуць запісвацца бягучыя даныя, напрыклад DYN, і націснуць «Enter».



8. Пасля гэтага на экране з'явіцца акно і ў файл DYN0.prn пачнуць запісвацца даныя. Пры правільнай рабоце значэнні T_1 і T_2 будуць змяняцца з інтэрвалам у 4 с. Пры неправільным падключэнні цеплалічальніка да ПК праграма выдае паведамленне аб памылцы.

The screenshot shows the main data display window with a menu bar and a table of statistics. The table is as follows:

ФАЙЛЫ		СТАТИСТИКА		СВЯЗЬ		ПЕЧАТЬ		ПАРАМЕТРЫ	
НОМЕР АБОНЕНТА: 0029977758				ТЕКУЩИЕ ДАННЫЕ		НОМЕР ТЭМ-05М: 2216			
ДАТА	МОЩНОСТЬ	РАСХОД		ТЕМПЕРАТУРА					
	P, Mкал/ч	G1, T/ч	G2, T/ч	T1, гр.С	T2, гр.С				
	0.00	0.0000	0.0000	0.00	2.04				
ПОКАЗАНИЕ ИНТЕГРАТОРОВ									
ВРЕМЯ	Q, Гкал	M1, тонн	M2, тонн	Tр, час					
20/00/00	02:01:00	-17.541	-175.41	20.40	0000000				

9. Адначасова апусціць тэрмометры ў тэрмастат з вадой і праводзіць вымярэнні, пакуль паказанні тэрмометраў не перастануць змяняцца.

10. Дастаць тэрмометры з тэрмастата і ахаладзіць іх на паветры да пакаёвай тэмпературы. Эксперымент працягваць, пакуль паказанні тэрмометраў не стануць блізкімі да пакаёвай тэмпературы.

11. Запусціць пакет Mathcad і праграму DYN.cad.

12. Паказаць шлях да запісанага файла даных (DYN0.pgn).

13. Пабудаваць графікі пераходных працэсаў для кожнага з тэрмометраў пры награванні (у вадзе) і ахаладжэнні (у паветры).

14. Устанавіць па атрыманых графіках парадак дыферэнцыяльных ураўненняў, выбраць мадэль (22), (24) або (25), выканаць неабходныя пабудаванні і вызначыць час запазнення і пастаянны час.

4.4. Змест справаздачы

Справаздача па дадзенай рабоце павінна змяшчаць: графікі пераходных працэсаў і пабудаванні, неабходныя для вызначэння пастаяннай часу і часу запазнення.

Кантрольныя пытанні

1. Пералічыць дынамічныя характарыстыкі СВ.
2. Якія фактары ўплываюць на дынаміку тэрмометраў?
3. Пры дапамозе якіх эксперыментальных метадаў вызначаюць дынамічныя характарыстыкі?
4. Чаму нагрэў у вадзе адбываецца хутчэй, чым ахаладжэнне на паветры?

Лабараторная работа № 5 ВЫМЯРЭННЕ ВІЛЬГОТНАСЦІ ГАЗАВАГА АСЯРОДДЗЯ

Мэта работы: вывучэнне прынцыпу дзеяння і канструкцыі аўтаматычнага псіхметра для бесперапыннага кантролю адноснай вільготнасці парагавай сумесі.

5.1. Агульныя звесткі

Неабходнасць кантролю вільготнасці ўзнікае пры кандыцыянаванні паветра, у газазборніках, халадзільніках, сушыльных устаноўках і г. д.

Змяшчэнне вільгаці ў газе характарызуецца яго абсалютнай і адноснай вільготнасцю.

Пад абсалютнай вільготнасцю газу разумеюць масавую колькасць вадзяной пары, якая змяшчаецца ў 1 м^3 гэтага газу.

Адносная вільготнасць – гэта суадносіна масы вадзяной пары ў 1 м^3 газавай сумесі і масы 1 м^3 насычанай пары пры той жа тэмпературы і ціску.

З азначэння абсалютнай вільготнасці вынікае, што гэта шчыльнасць вадзяной пары ρ_p , змешчанай ў парагавай сумесі, т. ч.

$$\rho_i = \frac{P_i}{R_i T}, \quad (1)$$

дзе P_p – парцыяльны ціск вадзяной пары, Па; R_p – газавая пастаянная вадзяной пары; T – абсалютная тэмпература вільготнага газу, К.

Паколькі пры тэмпературы да 100°C максімальная магчымая маса вадзяной пары, якая змяшчаецца ў 1 м^3 газавай сумесі, ёсць яго шчыльнасць у насычаным стане $\rho_{н.с}$, то адносная вільготнасць газу роўна

$$\varphi = \frac{\rho_i}{\rho_{i.с}}. \quad (2)$$

З дастатковай для практыкі дакладнасцю суадносіну шчыльнасці можна замяніць суадносінай парцыяльных ціскаў, т. ч.

$$\varphi \approx \frac{P_i}{P_{i.і}}. \quad (3)$$

Такім чынам, адносная вільготнасць φ газу паказвае ступень насычэння сумесі вадзяной парай. Яна роўна суадносіне парцыяльнага

ціску P_n , які змяшчаецца ў газе вадзяной пары, і парцыяльнага ціску насычанай вадзяной пары $P_{н.п}$ пры той жа тэмпературы.

Адносная вільготнасць газу ў звычайна выяўляецца ў працэнтах:

$$\varphi = \frac{P_i}{P_{i.n}} \cdot 100\% \approx \frac{P_i}{P_{i.i}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Вымярэнне вільготнасці газу ў звычайна праводзіцца адным з трох метадаў: 1) псіхаметрычным; 2) па пункце расы, які заключаецца ў вызначэнні тэмпературы, пры якой вадзяная пара, якая змяшчаецца ў газе, дасягае стану насычэння пры нязменным ціску; 3) паглынальным, заснаваным на паглыннанні гіграскапічным цэлам вільгаці з навакольнага газу і змяненні пры гэтым фізічных уласцівасцей гэтага цэла.

Найбольшае распаўсюджванне атрымаў псіхаметрычны метад, заснаваны на залежнасці інтэнсіўнасці выпарвання вільгаці ў навакольнае газовае асяроддзе ад вільготнасці гэтага асяроддзя. Інтэнсіўнасць выпарвання тым большая, чым сушэй доследнае асяроддзе, і наадварот, тым меншая, чым большую колькасць вадзяной пары змяшчае газовае асяроддзе. Паколькі працэс выпарвання вільгаці патрабуе страты пэўнай колькасці цяпла (утоенай цеплыні выпарвання), якое бяраецца з вільгаці, тэмпература апошняй, а таксама цел, якія да яе дакранаюцца, паніжаецца, і прытым тым значней, чым інтэнсіўней ідзе выпарванне (чым сушэй навакольнае асяроддзе).

Цэла, з паверхні якога адбываецца выпарванне, прымае некаторую тэмпературу, вядомую пад назвай тэмпературы «мокрага» тэрмометра; чым меншая вільготнасць доследнага газовага асяроддзя, тым ніжэйшая тэмпература «мокрага» тэрмометра і тым большая рознасць паказанняў «сухога» і «мокрага» тэрмометраў, або псіхаметрычная рознасць. Прыборы, пабудаваныя па гэтаму прынцыпу, называюцца псіхрометрамі.

Вымярэнне адноснай вільготнасці доследнага газу зводзіцца да вымярэння рознасці паказанняў двух аднолькавых тэрмометраў, усталяваных побач. Адзін з іх пастаянна змочваецца вадой, а другі застаецца сухім. Прыраўноўваючы расход цяпла на выпарэнне вільгаці з «мокрага» тэрмометра і прыток цяпла, які перадаецца апошняму з газовага асяроддзя ў момант раўнавагі паміж стратай і прытокамі цяпла, можна вывесці залежнасць паміж адноснай вільготнасцю газу і псіхаметрычнай рознасцю. Гэтая залежнасць выражаецца ўраўненнем

$$\varphi = \frac{P_i^n}{P_{i.i}^n} = \frac{P_{i.i}^i - A(t_n - t_i)}{P_{i.i}^n} \cdot 100\%, \quad (5)$$

дзе $P_i^{\text{н}}$ – парцыяльны ціск, які змяшчаецца ў доследным асяроддзі вадзяной пары пры тэмпературы «сухога» тэрмометра; $P_{i.i}^{\text{н}}$ – парцыяльны ціск насычанай вадзяной пары пры тэмпературы t_c «сухога» тэрмометра; $P_{i.i}^i$ – парцыяльны ціск вадзяной пары, якая насычае доследнае асяроддзе пры тэмпературы t_m «мокрага» тэрмометра; t_c – тэмпература «сухога» тэрмометра; t_m – тэмпература «мокрага» тэрмометра; A – псіхраметрычная пастаянная, якая залежыць ад канструкцыі прыбора, хуткасці абдзімання вільготнага тэрмометра доследным газам і ціскам газу.

Каэфіцыент A вызначаецца па псіхраметрычных табліцах, складзеных для вызначаных канструкцый псіхраметраў. Пры хуткасцях абдзімання вільготнага тэрмометра больш за 2,5–3 м/с велічыня A застаецца амаль пастаяннай. Ведаючы тэмпературу t_m «мокрага» тэрмометра і t_c «сухога» тэрмометра, па табліцах знаходзяць велічыні і з улікам A вылічваюць адносную вільготнасць.

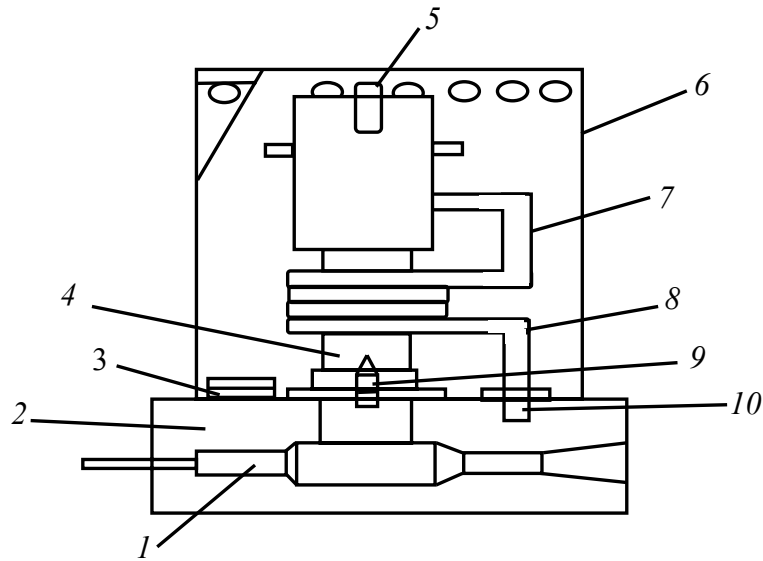
5.1.1. Аўтаматычны псіхраметрычны вільгацяммер АВП-201.

Прыбор АВП-201 прызначаны для бесперапыннага кантролю адноснай вільготнасці парагазавай сумесі ў закрытых тэхналагічных аб'ёмах і памяшканнях.

Першасны пераўтваральнік вільгацямера разлічаны на работу з вымяральным прыборам, распрацаваным на базе стандартнага прыбора тыпу КСМ-3 мадыфікацыі 1300, забяспечанага кантактным задатчыкам для 2- і 3-пазіцыйнага рэгулявання з ручной устаноўкай задання. Гэта дазваляе выкарыстоўваць вільгацяммер АВП-201 у сістэмах аўтаматычнага рэгулявання.

Вільгацяммер уключае ў сябе тры асноўныя блокі: першасны пераўтваральнік, панэль, вымяральны прыбор.

Першасны пераўтваральнік (мал. 5.1) складаецца з наступных вузлоў: эжэктар-пабуджальнік 1 расходу вымяраемай вады; кранштэйн 2 з адтулінамі для мацавання першаснага пераўтваральніка; плата 3 для злучэння электрычных ланцугоў першаснага пераўтваральніка і вымяральнага прыбора; адчувальныя элементы тэмпературы – тэрмарэзістары 5 і 9 , устаноўленыя ў поласці элемента 4 ; ахоўны каўпак 6 з адтулінамі для паступлення парагазавага асяроддзя; іголка 7 для падачы і распылення вады; змеявік 8 , які падтрымлівае тэмпературу вады, роўную тэмпературы вымяраемага асяроддзя; штуцэр падводу вады 10 ;



Мал. 5.1. Першасны пераўтваральнік

У аснову работы вільгацямера пакладзены псіхаметрычны метады вымярэння адноснай вільготнасці.

Адчувальны элемент вільгаці ўяўляе сабой полы тэрмаўстойлівы корпус, у якім усталяваны «сухі» R_{14} і «мокры» R_{15} тэрмаадчувальныя элементы – тэрмістары тыпу ММТ-4аТ з супраціўленнем 1,8 кОм пры 20°C (мал. 5.2).

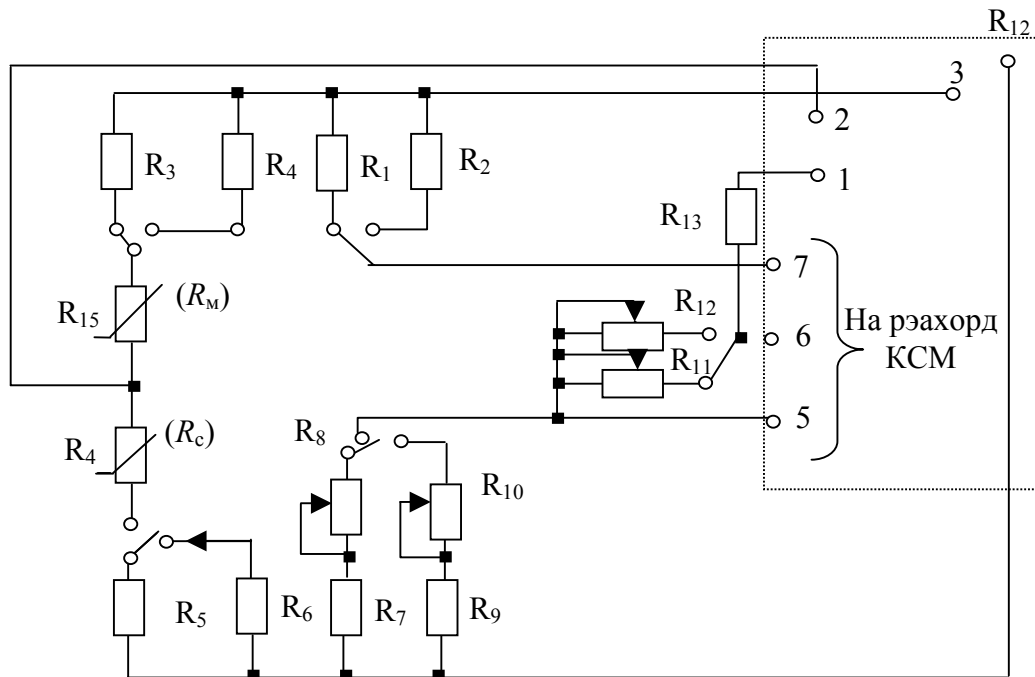
Пры падачы ў эжэктар-пабуджальнік *1* (мал. 5.1) сіснутага паветра з ціскам $0,08 \pm 0,005$ МПа адбываецца адбор вымяраемага асяроддзя, а таксама вады з бака праз змеявік *8* і іголку *7*. У выніку ў поласці адчувальнага элемента вільгаці вакол «мокрага» тэрмометра *9* утвараецца вадзяны туман, які змочвае яго паверхню.

Тэмпература «мокрага» тэрмістара з’яўляецца функцыяй вільготнасці вымяраемага асяроддзя. Змены супраціўлення «мокрага» і «сухога» тэрмарэзістараў, прапарцыянальных адноснай вільготнасці і тэмпературы вымяраемага асяроддзя, адпрацоўваюцца электрычнай схемай вымяральнага прыбора (мал. 5.2).

Электрычная схема прыбора ўяўляе сабой ураўнаважаны мост пераменнага току, у сумежныя плечы якога ўключаны «мокры» і «сухі» тэрмарэзістары R_{14} і R_{15} адпаведна.

Пры змяненні вільготнасці вымяраемага асяроддзя змяняецца супраціўленне тэрмарэзістара R_{15} і парушаецца раўнавага вымяральнай схемы. У выніку ў дыяганалі моста з’яўляецца напружанне разбалансу, якое праз ураўнаважвальную схему выклікае перамяшчэнне

рухавічка па рэахордзе да становішча, якое забяспечвае ўраўнаважанне вымяраемай схемы. У момант раўнавагі становішча паказальніка на шкале вызначае вымяраемую велічыню.



Мал. 5.2. Прынцыповая электрычная схема АВП-201

Пры рабоце на 1-ым паддыяпазоне (21–39) у электрычную схему падключаюцца рэзістары R_1 , R_3 , R_5 , R_7 , R_8 , і R_{11} . Пераменным рэзістарам R_8 здзяйсняецца наладка верхняй мяжы шкалы (100%), а ніжняя мяжа шкалы (10%) наладжваецца пераменным супраціўленнем R_{11} .

Пры пераключэнні на 2-гі паддыяпазон (31,5–59) у плечы моста ўключаюцца рэзістары: R_2 , R_4 , R_6 , R_{10} , R_{12} . Пры гэтым рэзістарам R_{10} праводзіцца настройка верхняй мяжы шкалы (100%), а рэзістарам R_{12} – ніжняй (10%).

На мост падаецца напружанне пераменнага току $\sim 6,3$ В праз рэзістар R_{13} .

Тэхнічныя дадзеныя прыбора:

- а) рэжым работы – бесперапынны;
- б) аналізуемае асяроддзе – парагазавая сумесь;
- в) дыяпазон вымярэння адноснай вільготнасці – ад 10 да 100% пры змене вымяраемай тэмпературы асяроддзя ад 30 да 100°C;
- г) шкала вільгацямера нелінейная, адградуіраваная ў адзінках адноснай вільготнасці ад 10 да 100% з цаной дзялення 1%;

д) дапушчальная тэмпература навакольнага асяроддзя – ад 10 да 50°C, дапушчальная вільготнасць – ад 20 да 80%;

е) мяжа асноўнай абсалютнай хібнасці павінна быць $\pm 3\%$ адноснай вільготнасці і мяжа дапушчальнай прыведзенай хібнасці вільгацямера павінна быць не больш за $\pm 3\%$ ад верхняй мяжы шкалы;

ж) час усталявання паказанняў вільгацямера пры скачкападобнай змене вільготнасці – не больш чым 90 с;

з) расход доследнага асяроддзя праз першаснага спажыўца – 25 ± 5 л/хвіл;

і) верагоднасць безадказнай работы вільгацямера за 1000 гадз – не менш як 0,89.

5.1.2. Наладка вільгацямера АПВ-201. Працэс наладкі прыбора праводзяць у памяшканні пры тэмпературы $20 \pm 5^\circ\text{C}$ і адноснай вільготнасці ад 30 да 80%.

1. Устанавіць пераключальнік дыяпазонаў у становішча 1, пераключальнік «кантроль / вымярэнне» у становішча «кантроль».

2. Уключыць сілкаванне прыбора.

3. Выставіць на магазінах супраціўленняў велічыні, роўныя супраціўленням «сухога» тэрмарэзістара R_{14} пры градуіровачнай тэмпературы 40°C (1266 Ом) і «мокрага» тэрмарэзістара R_{15} пры тэмпературы, адпаведнай верхняй мяжы шкалы 1 паддыяпазону (1197 Ом).

4. Пераменным рэзістарам R_8 вывесці стрэлку прыбора на канец шкалы 100%.

5. Устанавіць на магазіне, які імітуе «мокры» тэрмарэзістар, супраціўленне, адпаведнае пачатку шкалы 1 дыяпазону – 1873 Ом.

6. Пераменным супраціўленнем R_{11} вывесці стрэлку на адзнаку 10%.

5.1.3. Вызначэнне асноўнай абсалютнай хібнасці вымярэння. Асноўная абсалютная хібнасць вымярэння адноснай вільготнасці вызначаецца на адзнаках 10, 30, 60, 90 і 100% адноснай вільготнасці для 1 тэмпературнага паддыяпазону.

Вар'іруючы пераключальнікамі магазіна супраціўленняў, які імітуе «мокры» тэрмарэзістар, па чарзе ўстанаўліваюць стрэлку прыбора на адзнаках 10, 30, 60, 90 і 100% і запісваюць значэнні «мокрага» тэрмарэзістара для прамога і зваротнага ходу стрэлкі ў графы 6, 7 сапраўдных значэнняў табліцы.

Абсалютную хібнасць вызначаюць як рознасць паміж сапраўдным значэннем $R_M (R_M^{\text{пр}}, R_M^{\text{зб}})$ і таблічным $R_M^{\text{т}}$.

За абсалютную хібнасць прымаюць найбольшую з атрыманых значэнняў хібнасці.

Табліца

Значэнні супраціўленняў «мокрага» тэрмарэзістара

Паддыяпазон	Сапраўднае значэнне адноснай вільготнасці, %	Разліковая тэмпература «мокрага» тэрмарэзістара, °С	Супраціўленне «мокрага» тэрмарэзістара, R_m , Ом	Сапраўднае значэнне R_m , Ом	
				прамы ход $R_m^{пр}$	зваротны ход $R_m^{зв}$
	10	21	1873		
	30	27,2	1722,7		
	60	33,4	1497,4		
	90	37,6	1272,1		
	100	39,0	1197		

Вільгацяммер лічыцца працаздольным, калі яго максімальна дапушчальная абсалютная хібнасць не перавышае 3%.

5.1.4. Вызначэнне адноснай вільготнасці навакольнага паветра. Для гэтага неабходна:

1) выставіць на магазінах супраціўленняў велічыні, роўныя супраціўленням «сухога» тэрмарэзістара R_{14} пры градуіровачнай тэмпературы 20°C (1852 Ом) і «мокрага» тэрмарэзістара R_{15} пры тэмпературы, адпаведнай верхняй мяжы шкалы 1 паддыяпазону (1861 Ом);

2) пераменным рэзістарам R_8 вывесці стрэлку прыбора на канец шкалы 100%;

3) устанавіць на магазіне, імітуючым «мокры» тэрмарэзістар, супраціўленне, адпаведнае пачатку шкалы 1 дыяпазону – 2793 Ом;

4) пераменным супраціўленнем R_{11} вывесці стрэлку на адзнаку 10%;

5) устанавіць пераключальнік «кантроль / вымярэнне» у становішча «вымярэнне»;

6) уключыць тумблер падачы сціснутага паветра і ўстанавіць дроселем на ўваходзе ў эжэктар ціск, роўны $0,08 \pm 0,005$ МПа;

7) зняць паказанні прыбора і параўнаць значэнне адноснай вільготнасці па вільгацяммеры з паказаннямі іншых прыбораў (псіхметра на аснове двух спіртавых тэрмометраў).

5.2. Змест справаздачы

Справаздача па дадзенай рабоце павінна ўключаць: кароткі змест работы; тэхнічныя характарыстыкі сродкаў вымярэння і паверкі; характарыстыку метадаў вымярэння вільготнасці; прынцыповую электрычную схему вільгацямера і схему паверкі; эксперыментальныя і разліковыя даныя для вызначэння абсалютнай хібнасці вільгацямера; эксперыментальныя даныя адноснай вільготнасці навакольнага паветра; вывады.

Кантрольныя пытанні

1. Якія метады вымярэння вільготнасці існуюць?
2. У чым сутнасць псіхраметрычнага метаду вымярэння вільготнасці?
3. Якія элементы выкарыстоўваюць у якасці тэрмометраў?
4. У чым заключаецца прынцып работы вільгацямера АПВ-201?
5. У чым сутнасць паверкі вільгацямера?

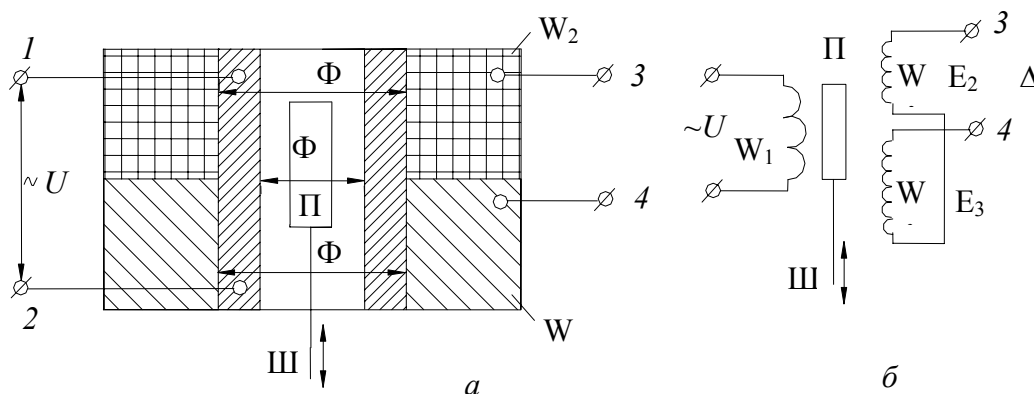
Лабараторная работа № 6 ДАСЛЕДАВАННЕ МЕТРАЛАГІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ПРЫБОРАЎ З ДЫФЕРЭНЦЫЯЛЬНА-ТРАНСФАРМАТАРНАЙ ВЫМЯРАЛЬНАЙ СХЕМАЙ

Мэта работы: азнаямленне з прынцыпам работы дыферэнцыяльна-трансфарматарных пераўтваральнікаў і метралагічнымі характарыстыкамі вымяральных прыбораў, якія працуюць у камплекце з імі.

6.1. Агульныя звесткі

Для дыстанцыйнай перадачы вымяральной інфармацыі шырока выкарыстоўваюць электрычныя сістэмы з электрамеханічнымі пераўтваральнікамі, уваходная электрычная велічыня якіх вызначаецца становішчам іх рухомых частак. Такія пераўтваральнікі разам з прасцітай прылады і высокай надзейнасцю дазваляюць пераўтварыць шматлікія тэхналагічныя параметры ў электрычны сігнал. Да такіх параметраў адносяцца: лінейнае і вуглавое перамяшчэнне, хуткасць і паскарэнне перамяшчальных вырабаў, ціск, разрэджанне, расход, узровень вадкасці і г. д.

Вялікае распаўсюджванне ў сістэмах дыстанцыйнага кантролю атрымаў дыферэнцыяльна-трансфарматарны пераўтваральнік (ДТП), які ўяўляе сабой два сумешчаныя трансфарматы з агульным рухомым якарам (мал. 6.1).



Мал. 6.1. Агульны выгляд цыліндрычнага ДТП (а)
і схема злучэння яго абмотак (б)

Прынцып дзеяння ДТП заснаваны на змяненні ўзаемаіндуктыўнасці дзвюх сістэм абмотак пры перамяшчэнні элемента магнітаправаду.

На пластмасавай шпульцы размешчаны адна першасная W_1 і дзве другасныя W_2, W_3 абмоткі. Шпулька змешчана ў цыліндрычны сталёвы кажух-магнітаправод для аховы ад знешніх магнітных палёў. Першасная абмотка размешчана раўнамерна па ўсёй даўжыні шпулькі. Да яе канцоў 1 і 2 падводзіцца напружанне сілкавання пераменнага току. Другасныя абмоткі выкананы ў выглядзе секцый, кожная з якіх займае палову шпулькі па даўжыні, мае аднолькавы лік віткоў і ўключана сустрэчна.

У сярэдзіне шпулек знаходзіцца плунжэр 2 з магнітамяккага жалеза, які па даўжыні меншы за шпульку. Праз шток Ш плунжэр звязаны з адчувальным элементам, перамяшчэнне якога залежыць ад вымяраемага параметра.

Пры сілкаванні абмоткі W_1 пераменным напружаннем U ствараецца магнітны струмень Φ_1 , які ахоплівае абедзве другасныя абмоткі і патокі Φ_2 і Φ_3 , звязаныя з абмоткамі W_2 і W_3 адпаведна.

У другасных абмотках індукіруецца ЭРС.

$$E_2 = 4,44f W_2(\Phi_1 + \Phi_2) \text{ и } E_3 = 4,44f W_3(\Phi_1 + \Phi_3),$$

дзе f – частата сілкавальнай сеткі; W_2, W_3 – лік віткоў адпаведных абмотак.

Калі плунжэр 2 знаходзіцца ў сярэднім становішчы, то ЭРС $E_2 = E_3$ і пры паслядоўным і сустрэчным злучэннях другасных абмотак на зацісках 3 і 4 напружанне будзе роўна нулю, г. зн.

$$\Delta E = E_2 - E_3 = 0.$$

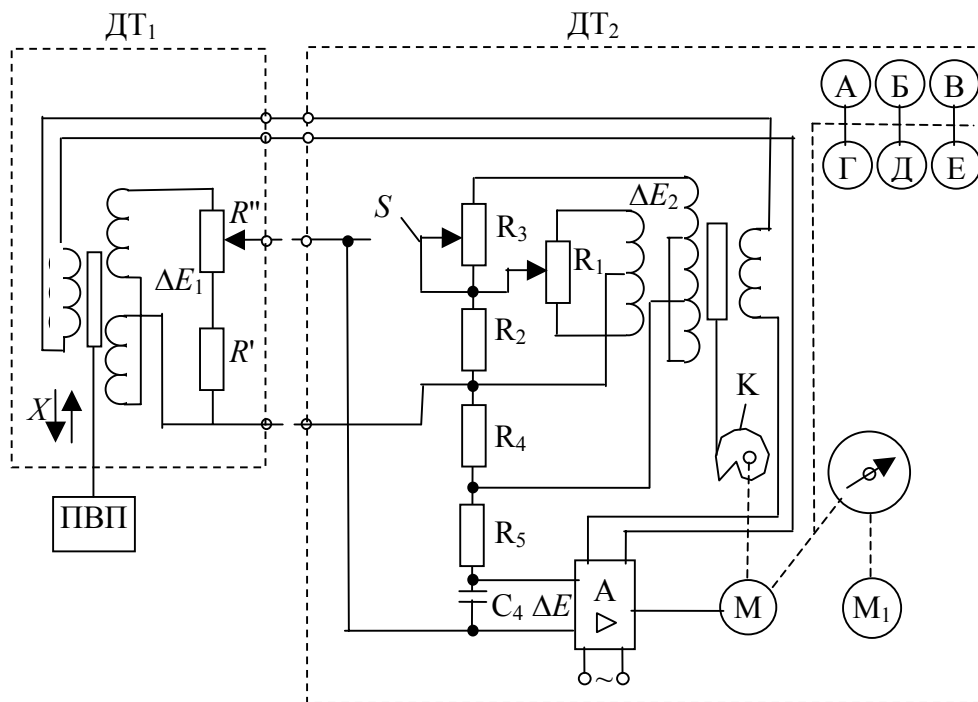
Калі плунжэр зрушыцца з сярэдняга становішча, роўнасць $\Phi_2 = \Phi_3$ парушыцца, і на зацісках 3 і 4 з'явіцца выніковая ЭРС. Значэнне яе будзе залежыць ад велічыні зрушэння плунжэра, а фаза – ад накірунку яго зрушэння.

6.1.1. Дыферэнцыяльна-трансфарматарная сістэма дыстанцыйнай перадачы паказанняў. У схему (мал. 6.2) уваходзяць дзве аднолькавыя шпулькі ДТ₁ (усталяваная ў датчыку) і ДТ₂ (усталяваная ў другасным прыборы).

Першасныя абмоткі ДТ₁ і ДТ₂ злучаны паслядоўна і сілкуюцца пераменным токам ад сілавога трансфарматара прыбора. Другасныя абмоткі ДТП ўключаны сустрэчна.

Калі стрыжань шпулькі ДТ₁ знаходзіцца ў сярэднім становішчы, то $\Delta E_1 = 0$. Калі стрыжань шпулькі ДТ₂ знаходзіцца ў сярэднім становішчы, то $\Delta E_2 = 0$. Такім чынам, напружанне ΔE на ўваходзе элек-

троннага ўзмацняльніка А другаснага прыбора будзе роўна нулю, паколькі $\Delta E = E_1 - E_2 = 0$. Сістэма знаходзіцца ў стане спакою.



Мал. 6.2. Прынцыповая схема дыферэнцыяльна-трансфарматарнай сістэмы перадачы паказанняў

Пры зрушэнні стрыжня датчыка з сярэдняга становішча ў вымяральной схеме пад дзеяннем напружання ΔE узнікае ток. Велічыня напружання гэтага току з'яўляецца функцыяй перамяшчэння стрыжня DT_1 , а яго фаза – функцыяй накірунку зрушэння. Велічыня ΔE узмацняецца ўзмацняльнікам А і паступае на абмотку кіравання рухавіка М, які, круцячы кулачок К, будзе перамяшчаць стрыжань шпулькі DT_2 другаснага прыбора, пакуль індукцыруемае напружанне ΔE_2 не стане роўным напружанню ΔE_1 . Адначасова з кулачком К перамяшчаецца і стрэлка прыбора, звязаная гібкай сувяззю з электрухавіком М.

Такім чынам, кожнаму становішчу стрыжня DT_1 датчыка будзе адпавядаць пэўнае становішча стрыжня DT_2 прыбора, а значыць, і становішча стрэлкі.

Для ўстаноўкі пачатковай (нулявой) адзнакі шкалы ў прыборы прадугледжана абмотка W_4 , шунціраваная рэзістарам R_1 . Калі стрыжань знаходзіцца ў ніжнім становішчы, а стрэлка прыбора не

ўсталёўваецца на нулявую адзнаку шкалы, здзяйсняецца рэгуляванне ланцуга перамяшчэннем рухавічка R_1 .

Спраўнасць прыбора правяраюць з дапамогай кнопкі кантролю S , пры замыканні якой ланцуг другаснай абмоткі ДТ₁ адключаецца і на ўваход узмацняльніка падаецца сігнал з другаснай абмоткі ДТ₂. У гэтым выпадку M устаноўіць паказальнік у сярэдняе становішча, адзначанае на шкале прыбора, пры якім $\Delta E_2 = 0$. Калі пры гэтым стрэлка не ўстаноўіцца ў неабходнае становішча, прыбор наладжваюць перамяшчэннем шпулек адносна стрыжня ДТ₂. Медны рэзістар R_2 выкарыстоўваецца для кампенсавання тэмпературных хібнасцей другаснай абмоткі прыбора.

Для дыстанцыйнай перадачы ціску прымяняюць манометры МЭД, забяспечаныя ДТП [1, 2]. Пругкім адчувальным элементам манометра з'яўляецца трубчастая спружына (трубка Бурдона), замацаваная на трымальніку, на якім знаходзіцца планка з ДТП. У трубку Бурдона падводзіцца вымяраемы ціск. Трубка разгінаецца і перамяшчае замацаваны на яе канцы плунжэр.

6.2. Парадак выканання работы

1. Вывучыць канструкцыі ДТП, другаснага прыбора, манометра МЭД і прынцыповыя схемы другасных прыбораў.

2. Пры ўключаным прыборы націснуць кнопку кантролю спраўнасці яго работы.

3. Упэўніцца ў тым, што пры адсутнасці перамяшчэння плунжэра стрэлка прыбора знаходзіцца на нулявой адзнацы шкалы.

4. Перамяшчаючы лімба прывада плунжэра датчыка праз два дзяленні, запісаць паказанні прыбора. Складзі табліцу і пабудаваць графік статычнай характарыстыкі, якая паказвае залежнасць паказанняў прыбора ад дзяленняў лімба.

5. Правесці градуіроўку шкалы другаснага прыбора.

6. Уключыць прыбор КСД-3. Даць яму прагрэцца. Змяняючы ціск на манометры МЭД праз 0,02 МПа (па ўзорным манометры), запісаць становішча стрэлкі другаснага прыбора.

7. Складзі градуіровачную табліцу і пабудаваць графік залежнасці $N = f(p)$, дзе N – паказанні прыбора КСД, спраў; P – ціск па ўзорным манометры, кПа.

6.3. Змест справаздачы

У справаздачы па дадзенай рабоце павінны быць прыведзены: тэхнічныя характарыстыкі ДТП, другасных прыбораў, МЭД; прынцыповыя схемы ўключэння ДТП і сістэм дыстанцыйнай перадачы ціску; табліцы вынікаў доследаў, графікі статычнай і градуіровачнай характарыстык.

Кантрольныя пытанні

1. У чым заключаецца прынцып работы ДТП?
2. Што такое дыстанцыйная сістэма перадачы паказанняў?
3. Як працуе дыстанцыйная сістэма перадачы з ДТП?
4. Як пабудаваны манометр МЭД?

Лабораторная работа № 7 ВЫМЯРЭННЕ ЧАСТАТЫ ВЯРЧЭННЯ

Мэта работы: вивучэнне метадаў вымярэння частаты вярчэння і прынцыпаў работы тахометраў.

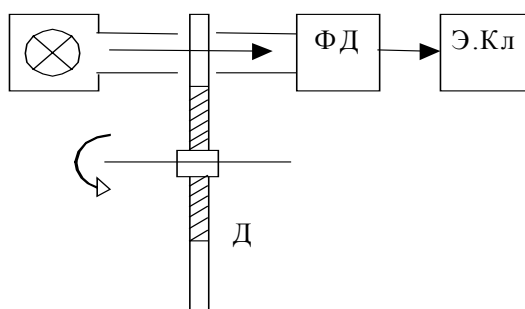
7.1. Агульныя звесткі

Прыборы для вымярэння частаты вярчэння – тахометры – знаходзяць шырокае прымяненне пры аўтаматызацыі розных тэхналагічных працэсаў, у якіх патрабуецца вымярэнне колькасці абаротаў частак машын і механізмаў і выдача ў сістэму кантролю і кіравання каманд пры дасягненні зададзенай колькасці абаротаў. Па прынцыпу дзеяння тахометры бываюць механічнымі, страбаскапічнымі, магнітаіндукцыйнымі, электрычнымі і электроннымі.

7.1.1. Магнітаіндукцыйныя тахометры. Для вымярэння частаты вярчэння найбольш распаўсюджанымі з'яўляюцца сінхронныя генератары, якія ўваходзяць ў склад магнітаіндукцыйных тахометраў. Прынцып дзеяння іх заснаваны на пераўтварэнні частаты вярчэння вала аб'екта ў ЭРС з частатой, прапарцыянальнай частаце вярчэння вала, і на ўласцівасці сістэмы трохфазных токаў ствараць вярчальнае магнітнае поле. Канструктыўна ён уяўляе сабой трохфазны генератар пераменнага току з пастаянным магнітам. Напружанне ад генератара паступае на паказваючы прыбор, у якім у якасці прыёмніка выкарыстаны сінхронны рухавік, што верціць сталыя магніты. Пераўтварэнне частаты вярчэння ў вуглавое перамяшчэнне стрэлкі здзяйсняецца магнітаіндукцыйнай прыладай. Яе работа заснавана на ўзаемадзеянні магнітнага поля вярчальных сталых магнітаў з індукцыйнымі токамі, якія наведзены гэтым полем у металічным дыску. У выніку гэтага ўзаемадзеяння ўзнікае вярчальны момант дыска, злучанага са стрэлкай, прапарцыянальны частаце вярчэння магнітаў, які ўраўнаважваецца процідзейнай спружынай. Такія тахометры вымяраюць частату вярчэння з дакладнасцю $\pm 1\%$ ў межах рабочага дыяпазону.

7.1.2. Фотаэлектрычны тахометр. Для пераўтварэння абаротаў у частату імпульсаў выкарыстоўваецца фотаэлектрычны пераўтваральнік (мал. 7.1).

На вале доследнага рухавіка (ДПТ) умацаваны тонкі металічны дыск Д з проразямі. З абодвух бакоў дыска ўсталяваны фотаэлектрычны пераўтваральнік (ФЭП).



Мал. 7.1. Фотаэлектрычны пераўтваральнік

Крыніца святла пераўтваральніка праз проразі асвятляе фотадыёд, уключаны ў электронны ключ.

На выхадзе электроннага ключа фарміруюцца прамавугольныя імпульсы з частатой

$$N = nC,$$

дзе n – частата вярчэння вала рухавіка; C – лік проразей на дыску.

Гэтыя імпульсы падаюцца на ўваход асцылографа. Па асцыляграме разлічваецца частата прытрымлівання гэтых імпульсаў:

$$f = \frac{1}{T},$$

дзе T – перыяд імпульсу. Лік проразей на дыску – 60.

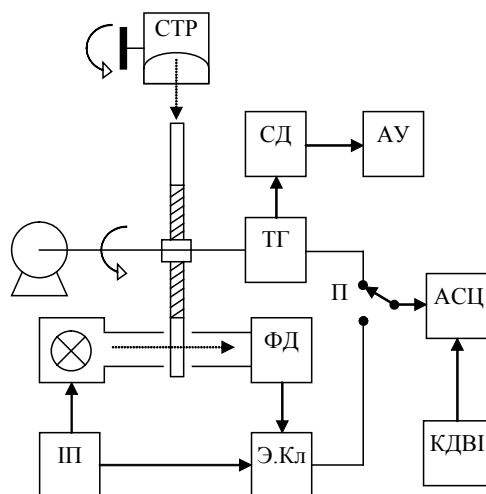
Такім чынам,

$$f = n \left(\frac{\text{àá}}{\text{ôâ}} \right).$$

Параўноўваючы гэтую частату з паказаннямі тахагенератара, знойдзем хібнасць. Сапраўдную колькасць абаротаў можна вызначыць з дапамогай калібратара працягласці імпульсаў.

7.1.3. Страбаскапічны тахометр. Работа яго заснавана на вызначэнні становішча якой-небудзь кропкі, якая знаходзіцца на вярчальным дыску. Пры асвятленні вярчальнага дыска воблескамі святла з частатой, якая супадае з частатой вярчэння, гэтая кропка будзе здавацца нерухомай, а паказальнік частаты водблескаў святла дасць колькасць абаротаў.

Схема ўстаноўкі для вывучэння метадаў вымярэння частаты вярчэння паказана на мал. 7.2.



Мал. 7.2. Схема устаноўкі для вывучэння метадаў вымярэння частаты вярчэння

7.2. Парадак выканання работы

1. Вымераць частату вярчэння вала рухавіка з дапамогай тахагенератара магнітаіндукцыйнага тыпу (ТГ).

1.1. Уключыць тумблер «Сетка».

1.2. Пераключальнік роду работы ўстанавіць у становішча «Тахометр».

1.3. Тумблерам «Рухавік» уключыць ДПТ.

1.4. Рэгулятарам абароту ўстанавіць абароты: 1000, 2000 і 3000 аб/хвіл.

1.5. З дапамогай асцылографа (АСЦ) вымераць перыяд сінусоіднай ЭРС тахагенератара.

1.6. Пераключыць уваход асцылографа да калібратара працягласці часовых інтэрвалаў (КПЧІ) і параўнаннем вызначыць дакладнае значэнне перыяду сінусоіднай ЭРС.

1.7. Вызначыць хібнасць паказанняў тахометра.

2. Вызначыць частату вярчэння вала рухавіка з дапамогай фотаэлектрычнага тахометра.

2.1. Пераключальнік роду работ перавесці ў становішча «Фотаэлектрычны тахометр». Пры гэтым на экране асцылографа з'явіцца імпульсы ад электроннага ключа (Э. Кл.).

2.2. Вызначыць частату утрымання гэтых імпульсаў як

$$f = \frac{1}{T} \left(\frac{1}{c} \right).$$

З улікам колькасці імпульсаў за адзін абарот вала вызначыць частату вярчэння вала.

2.3. Разлічыць хібнасць метаду, выкарыстоўваючы калібра-тар працягласці часовых інтэрвалаў.

3. Вызначыць частату вярчэння вала рухавіка па страбаскапіч-ным тахометры (СТАР).

3.1. Уключыць блок страбаскопа ў сетку.

3.2. Пераключальнік на задняй панэлі блока паставіць у стано-вішча «Сінхранізацыя», пры гэтым загараецца адпаведны індыкатар.

3.3. Накіраваць крыніцу на вярчальны дыск і, змяняючы рэ-гулятарам частату водблескаў святла, атрымаць нерухомую адзнаку.

3.4. Вызначыць па паказальніку частату і параўнаць яе з да-нымі іншых метадаў. Даць адзнаку хібнасці.

7.3. Змест справаздачы

У справаздачы павінны быць прыведзены: схемы ўстановак; характарыстыкі тахометраў; даныя вымярэнняў; разлікі хібнасцей; вывады.

Кантрольныя пытанні

1. Для чаго неабходна вымяраць частату вярчэння ў сістэмах аўтаматыкі?

2. Як працуе магнітаіндукцыйны тахометр?

3. У чым заключаецца прынцып вымярэння частаты вярчэння фотаэлектрычным тахометрам?

4. Што такое страбаскапія?

Лабараторная работа № 8

ДАСЛЕДАВАННЕ МЕТРАЛАГІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ПНЕЎМАТЫЧНЫХ ПРЫБОРАЎ

Мэта работы: вивучэнне канструкцыі, прынцыпу дзеяння метадыкі вызначэння метралагічных характарыстык пнеўматычных прыбораў.

8.1. Агульныя звесткі

У прамысловасці шырока выкарыстоўваюцца пнеўматычныя элементы аўтаматыкі і вымяральной тэхнікі. Яны складаюць пнеўматычную галіну дзяржаўнай сістэмы прыбораў і сродкаў аўтаматызацыі (ДСП).

Асабліва каштоўнымі якасцямі пнеўматычных прылад з'яўляецца прастата і надзейнасць апаратуры, а таксама выбухова- і пажарабяспечнасць, якія становяцца вырашальнымі пры аўтаматызацыі хімічнай, нафтавай, харчовай, цэлюлозна-папяровай і іншых вытворчасцей, дзе пнеўматычныя сродкі аўтаматызацыі і кантролю незамінныя.

Пнеўматычныя прыборы прызначаны для вымярэння тэхналагічных параметраў, папярэдне пераўтвораных у пнеўматычны сігнал велічыняй 20–100 кПа.

У цяперашні час прамысловасцю выпускаецца серыя пнеўматычных прыбораў сістэмы СТАРТ, выкананых на базе уніфікаваных сістэм элементаў прамысловай пнеўмааўтаматыкі (УСЭППА).

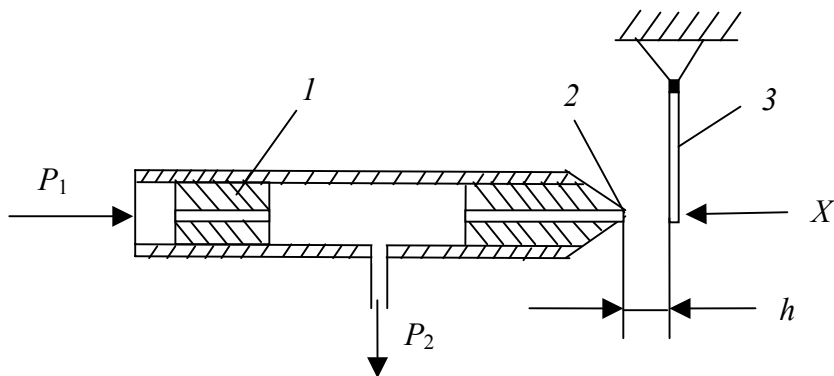
У сістэму СТАРТ уваходзяць: паказваючыя прыборы ПВ1.3, ПВ2 (з сігнальнай прыладай), ПВ2.3 (з задатчыкам), ПВ3.2 (трохшкальны); самапісныя і паказваючыя дыяграмы з электрычным (пнеўматычным) прывадам ПВ4.2Э (ПВ4.2П) (аднашкальныя), ПВ4.3Э (ПВ4.3П) (дзве паказваючыя сістэмы), ПВ10.1Э (ПВ10.1П) (тры паказваючыя і адна запісваючая сістэма з вузлом пераключальніка і задатчыкам), ПВ10.2Э (ПВ10 < Д1) (дзве запісваючыя і чатыры паказваючыя сістэмы з вузлом пераключальніка і задатчыкам); якія аб'ядноўваюць ПВ.4П і ПІК-1.

Асноўная дапушчальная хібнасць другасных пнеўматычных прыбораў – $\pm 1\%$.

Усе пнеўматычныя пераўтваральнікі, датчыкі і прыборы ўключаюць пераўтваральнік тыпу «сапло – засланка» (мал. 8.1). Паветра,

ачышчанае ад пылу, масла і вільгаці, пад пастаянным ціскам P паступае праз дросель пастаяннага супраціўлення l у праточную камеру. З апошняй сціснутае паветра праз сапло 2 , якое прыкрыта засланкай 3 , выцякае ў атмасферу. Пры гэтым сапло з засланкай утвараюць кіруючы дросель (пераменнае рэгулюемае супраціўленне).

Становішча засланкі 3 , якая перамяшчаецца пад уздзеяннем вымяраемага параметра X адносна сапла 2 , вызначае праходное сячэнне і велічыню P у праточнай камеры. Гэта камера злучаецца з лініяй сувязі або з асноўным элементам.

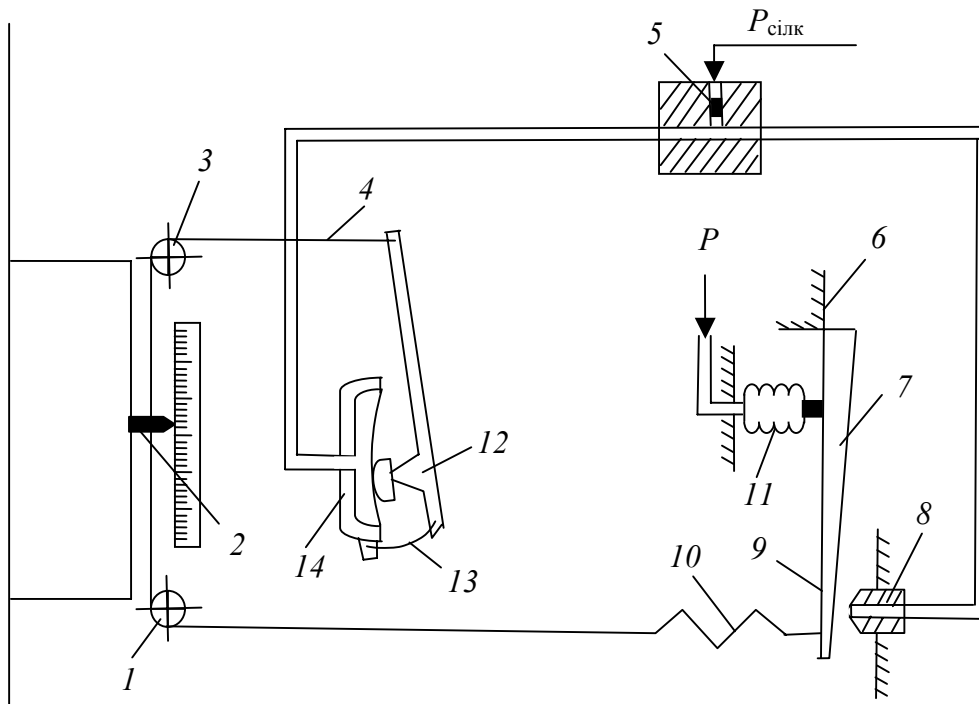


Мал. 8.1. Пераўтваральнік тыпу «сапло – засланка»

8.1.1. Прынцып работы пнеўматычнага другаснага прыбора.

На мал. 8.2 прыведзена схема вымяральной прылады прыбораў ПВ. Дзеянне яе заснавана на кампенсацыйным прынцыпе, пры якім намаганне, што ўзнікае на прыёмным элеменце пад дзеяннем уваходнага ціску, ураўнаважваецца намаганнем ад ціску паветра крыніцы сілкавання [2, 5].

Уваходны сігнал P паступае ў прыёмны сільфон 11 , паветра сілкавання праз дросель 5 падаецца ў сілавы элемент 14 і да сапла 8 . Пры змене ўваходнага ціску сільфон перамяшчае рычаг 7 , выклікаючы змяненне зазору паміж саплом і засланкай 9 , размешчанай на канцы рычага 7 . Пры павелічэнні ўваходнага ціску засланка закрывае сапло і ціск у лініі сілавога элемента таксама павялічваецца. Гэта выклікае перамяшчэнне верхняга канца рычага 12 і звязанай з ім ніткі 4 , якая агібае ролікі 1 і 3 . Нітка перамяшчае паказальнік і пяро 2 і расцягвае спружыну зваротнай сувязі 11 і крыху круціць засланку, чым забяпечваецца прапарцыянальнасць паказанняў велічыні ўваходнага сігнала прыборам. Умацаванне рычагоў 7 і 12 здзяйсняецца з дапамогай пласцістых спружын 6 і 13 .



Мал. 8.2. Вымяральная прылада другаснага вымяральнага прыбора ПВ

8.1.2. Рэжымы работы пнеўматычнага прыбора са станцыяй кіравання. Станцыя кіравання ўбудуваецца ў другасныя прыборы, якія ажыццяўляюць бесперапынны запіс рэгулюемага параметра, а таксама дае паказанні ад ручнога або праграмнага задатчыка (мал. 8.3).

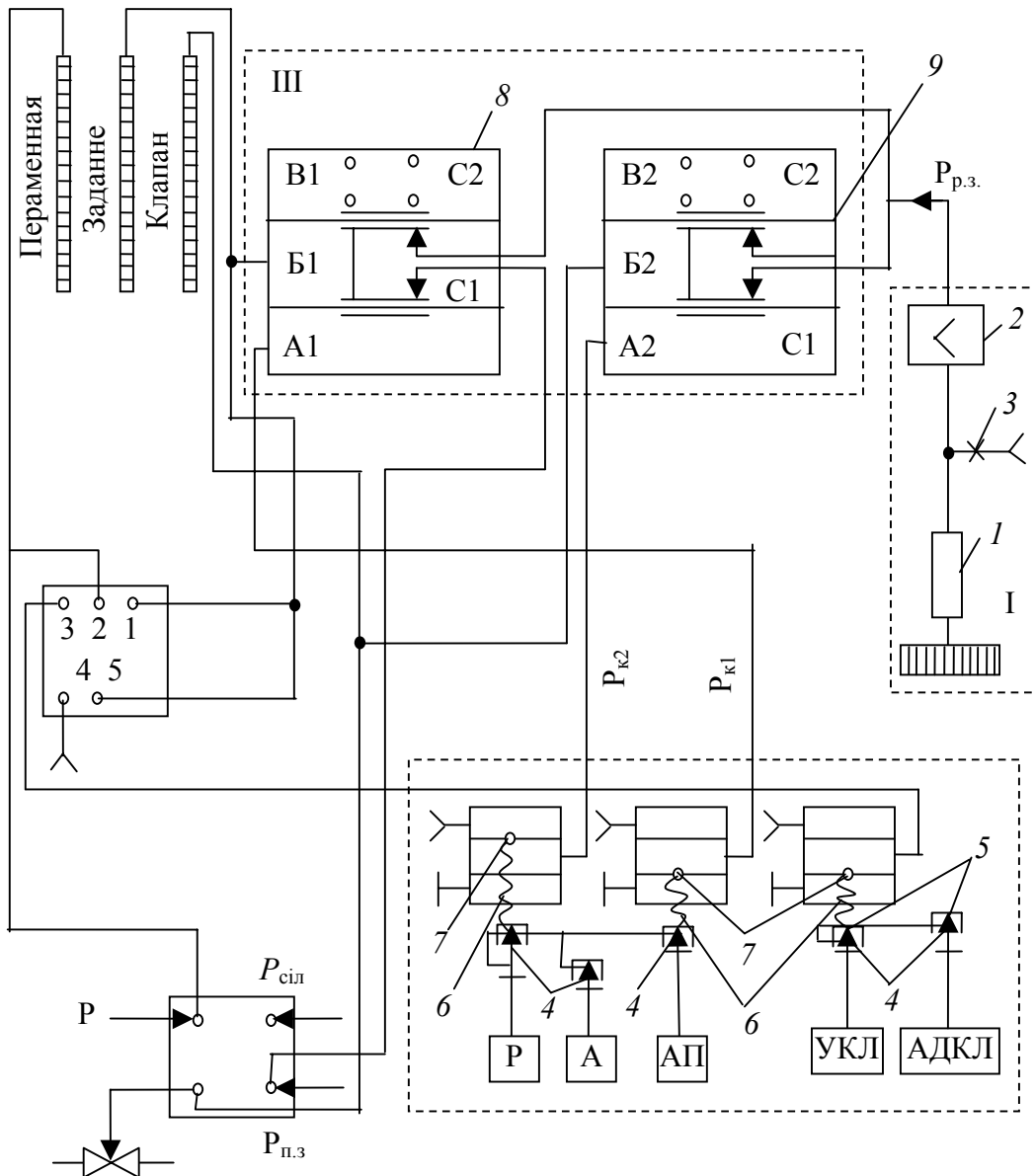
Станцыя кіравання дазваляе перакладаць працэс з ручнога кіравання выканаўчым механізмам на аўтаматычнае.

Станцыя кіравання кампануецца з ручнога задатчыка (I) і пераключальніка (вузлы II і III). Вузел задатчыка прызначаны для ўстаноўкі задання пры аўтаматычным рэгуляванні $P_{п.з}$ і кіраванні выканаўчым механізмам пры ручным кіраванні ($P_{р.з}$).

Вузел задатчыка складаецца з задатчыка 1, узмацняльніка магутнасці 2 і нерэгулюемага пнеўмасупраціўлення 3.

Пераключальнік складаецца з кнопкавага механізма II і вузла з выключаючымі рэле III.

Калі кнопка не ўключана, то паветра з канала сілкавання праходзіць у рэле пераключальніка. Пры ўключэнні кнопкі конус 4 уваходзіць у выступ 5, які падціскаецца да паверхні конуса спружынай. Шток конуса спружынай 6 адштурхоўвае шарык 7, у выніку чаго закрываецца клапан сілкавання, а ўключаючае рэле аб'ядноўваецца з атмасферай.



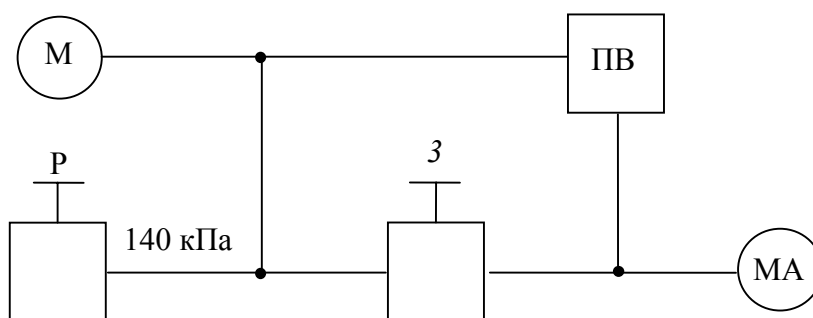
Мал. 8.3. Прынцыповая схема станцыі кіравання

Выключаючы рэле 8 і 9 кіруюцца каманднымі сігналамі $P_{к1}$ і $P_{к2}$, якія падаюцца ў камеры A_1 і A_2 ад адпаведных кнопак. Пры $P_к = 0$ пад ўздзеяннем спружыны закрыта сапло C_2 . Калі $P_к = 1$, закрыта сапло C_1 , але адкрыта сапло C_2 . Такім чынам, выхад рэле ў залежнасці ад ціску каманды $P_к$ злучаецца або з адным, або з другім саплом.

Станцыя кіравання мае пяць кнопак. Злева тры кнопкі адпавядаюць ручнаму кіраванню (P), аўтаматычнаму (A) і аўтаматычнаму праграмнаму рэгуляванню (АП). Дзве кнопкі, размешчаныя справа, кіруюць уключэннем рэгулятара (УКЛ і АДКЛ).

8.1.3. Методыка паверкі прыбора ПВ. Паверка правільнасці паказанняў прыбора ПВ праводзіцца па схеме, прыведзенай на мал. 8.4.

На павяраемы прыбор ПВ падаецца паветра праз рэдуктар Р з ціскам 0,14 мПа, кантралюемае з дапамогай манометра М. Ад гэтага ж рэдуктара праз задатчык З падаецца рэгулюемы ў межах 20–100 кПа ціск на ўваход павяраемага прыбора і на ўзорны манометр МА з межамі 0–160 кПа.



Мал. 8.4. Схема паверкі

Паказальнік і пяро павінны ўстанаўлівацца на ніжняй адзнацы шкалы з дакладнасцю не ніжэй за $\pm 0,5\%$ пры падачы на ўваход прыбора ціску 20 кПа. Для ліквідацыі адхіленняў у прыборы маецца карэктар. Затым правяраецца правільнасць паказанняў на ўсіх лічбавых адзнаках шкалы спачатку пры павелічэнні ціску, затым пры яго памяншэнні.

Паверку можна выканаць двума спосабамі. Пры першым спосабе ўстанаўліваюць стрэлку прыбора на павяраемую адзнаку шкалы $N_{ш}$, ствараючы адпаведны ціск P_p , які вымяраецца ўзорным манометрам.

Пры другім спосабе ўстанаўліваюць на ўзорным манометры разліковае значэнне ўваходнага ціску P_p , а адлік паказанняў выконваюць па шкале павяраемага прыбора N_p . Пры гэтым значэнне ўваходнага ціску P_p , кПа, вызначаюць па формуле

$$P_p = (0,2 + 0,8 \frac{N_{ш} - N_{п.а}}{N_{к.а} - N_{п.а}}) \cdot 100,$$

дзе $N_{к.а}$, $N_{п.а}$ — значэнні вымяраемай велічыні, адпаведныя канчатковай і пачатковай адзнакам шкалы.

Асноўная хібнасць δ , %, вызначаецца па формулах:

– пры паверцы першым спосабам:

$$\delta = 100 \cdot \left(\frac{N_{\text{ш}} - N_{\text{п.а}}}{N_{\text{к.а}} - N_{\text{п.а}}} - \frac{P_{\text{э}} - 20}{80} \right);$$

– пры паверцы другім спосабам:

$$\delta = 100 \cdot \left(\frac{N_{\text{ш}} - N_{\text{ш.п}}}{N_{\text{ш.к}} - N_{\text{ш.п}}} - \frac{P_{\text{р}} - 20}{80} \right).$$

8.1.4. Прыбор кантролю пнеўматычны інтэгруючы тыпу ПШК-1. Прыбор прызначаны для вымярэння колькасці рэчыва шляхам сумавання значэнняў расходу за прамежак часу (мал. 8.5).

Інтэгратар складаецца з дзвюх асноўных частак – механічнай (лічыльнік) і пнеўматычнай (інтэгратар), якая ўключае вымяральны вузел і вузел пераўтварэння сігнала, прапарцыянальнага перападу, у сігнал, прапарцыянальны расходу.

Дзеянне прыбора заснавана на прынцыпе сілавога кампенсавання. Намаганне на прыёмным элеменце – сільфоне 6, якое атрымліваецца ад уваходнага пнеўматычнага сігнала, бесперапынна ўраўнаважваецца намаганнем, што развіваецца цэнтрабежным рэгулятарам 8. Вярчэнне цэнтрабежнага рэгулятара перадаецца на вось лічыльніка 7.

Вымяральны вузел і вузел пераўтварэння ўстанаўліваюць на агульнай падставе. Да падставы прымацоўваюць прыёмны сільфон 6. У яго паступае пнеўматычны сігнал ад пераўтваральніка дыфманометра-расхадамера. Дно сільфона жостка замацоўваюць на рычагу 4, адзін канец якога падвешаны на стужкавых падвесках 5. На іншым канцы рычага замацавана засланка 2, якая размешчана ад сапла 1 на адлегласці 0,01–0,15 мм. Стужкавыя падвескі, узаемна перпендыкулярныя і надзейна замацаваныя, забяспечваюць качэнне рычага 4.

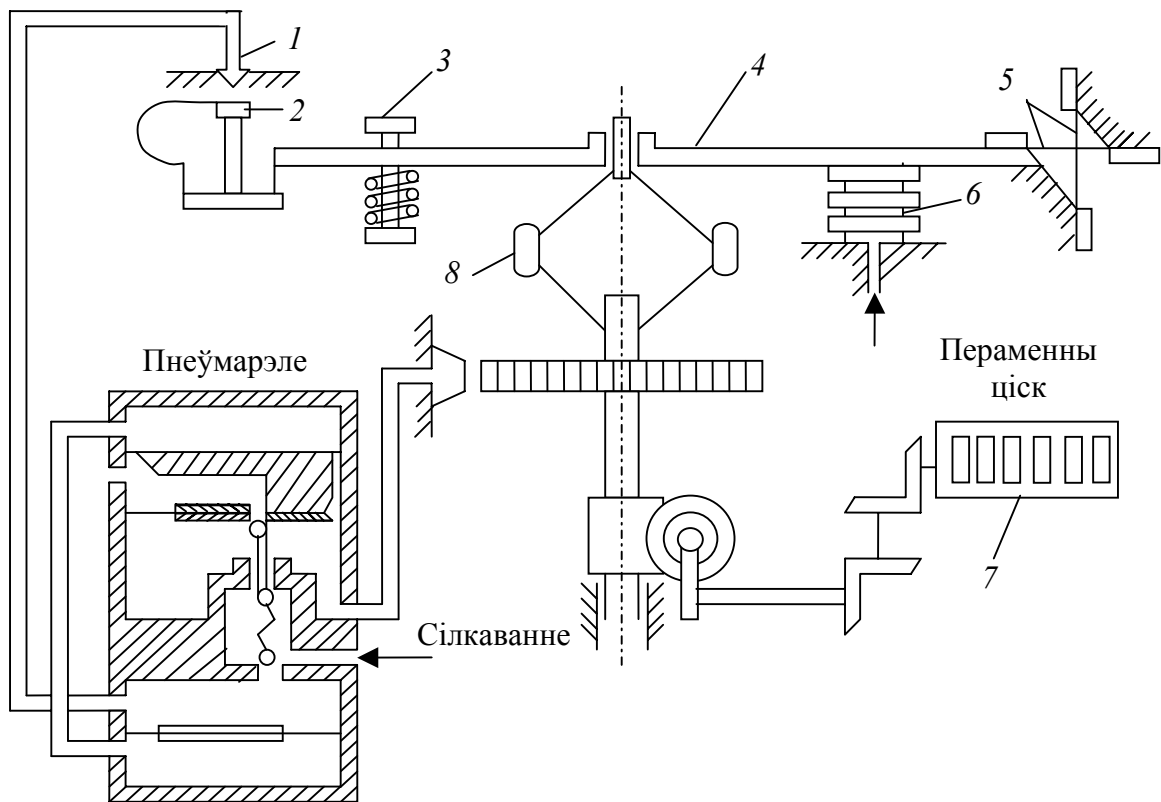
Карэкцыя нуля-прыбора здзяйсняецца шрубай 3.

Інтэгруючыя прыборы забяспечаны шасцізнакавым лічыльнікам барабаннага тыпу і дыскавай шкалай для дакладных адлікаў (з дакладнасцю да 0,005). Колькасць рэчыва Q вызначаецца па формуле

$$Q = C \Delta n,$$

дзе C – пастаянная інтэгратора; n – рознасць паказанняў лічыльніка.

Дапушчальная хібнасць інтэгратора – 1,0%.



Мал. 8.5. Схема пнеўматычнага прыбора ППК-1

8.1.5. Паверка інтэгратораў. Паверка інтэгратораў праводзіцца таксама па схеме, прыведзенай на мал. 8.4. Ціск сілкавання і выхаднога сігнала ўстанаўліваецца пры дапамозе манометраў M і $M_{звар}$. Час работы інтэгратора фіксуецца секундамерам першага класа. Работу інтэгратора правяраюць пры ціску 20; 27,4; 40; 65 і 100 кПа, адпаведнаму 0, 30, 50, 75 і 100% шкалы.

Даныя, неабходныя для паверкі шкалы прыбора ППК-1, прыведзены ў табл. 8.1.

Табліца 8.1

Даныя паверкі інтэгратора ППК-1

Расход, %	Разліковая колькасць лічбаў па лічыльніку	Дапушчальная розніца паказанняў лічыльніка за гадзіну, дзял.		Разліковы час на Z лічбаў, хвіл	Допуск на гадзіну, с	Сапраўдны час на Z лічбаў, хвіл
		-1%	+1%			
30	6	5,8	6,2	10	±20	
50	5	4,9	5,1	5	±6	
75	6	5,92	6,08	4	±3,2	

100	6	6,94	6,06	3	±1,8	
-----	---	------	------	---	------	--

8.2. Парадак выканання работы

1. Азнаёміцца з разнавіднасцямі пнеўматычных прыбораў і прынцыпамі іх работы.

2. Выканаць паверку прыбора ПВ двума спосабамі. Параўнаць табліцы выпрабаванняў і разлічыць асноўную хібнасць.

3. Азнаёміцца з прынцыпам работы інтэгруючага прыбора ППК-1.

4. Выканаць паверку прыбора ППК-1 у наступным парадку:

- уключыць лабараторны стэнд (падаць ціск);
- уключыць інтэгруючы прыбор ППК-1 (з дапамогай SA1);
- выкарыстоўваючы рэгулятар R_1 , устанавіць ціск 0, 10, 20, 30, 40, 50 кгс/см² на ўзорным манометры;
- на працягу кожных 5 хвіл фіксаваць паказанні (з улікам пас-
таяннай інтэгравання).

5. Запоўніць табл. 8.2. Вынікі доследаў параўнаць з данымі табліцы.

Табліца 8.2

№ доследу	Час, Δt , хвіл	Ціск, P , 1,6 кгс/см ²	Расход, $Q_{\text{табл}}$, м ³ /гадз	Расход, $Q_{\text{вым}}$, м ³ /гадз	Абсалютная хібнасць, %	Адносная хібнасць, %
1		0	29,13			
2		10	29,82			
3		20	30,5			
4		30	30,84			
5		40	31,19			
6		50	31,36			

8.3. Змест справаздачы

У справаздачы па дадзенай рабоце павінны быць прыведзены: прынцыповыя схемы прыбораў ПВ, ППК-1 і іх метралагічныя характа-

рыстыкі; пералік лабараторнага абсталявання; табліцы і разлікі асноўных хібнасцей; вывады аб працаздольнасці доследных прыбораў.

Кантрольныя пытанні

1. Для чаго прызначаны пнеўматычныя прыборы і якія іх асноўныя іх тыпы існуюць?
2. Як працуе пераўтваральнік тыпу «сапло – засланка»?
3. У чым заключаецца прынцып работы прыбора ПВ?
4. Якія рэжымы работы прыбора ПВ са станцыяй кіравання існуюць?
5. Як і па якой схеме праводзіцца паверка пнеўматычных прыбораў?
6. Па якіх формулах разлічваюцца хібнасці прыбораў тыпу ТШ?
7. З якіх асноўных вузлоў складаецца інтэгратар ППК-1?

Лабараторная работа № 9 ВЫМЯРЭННЕ РАСХОДУ РЭЧЫВА МЕТАДАМ ПЕРАМЕННАГА ПЕРАПАДУ ЦІСКУ

Мэта работы: вывучэнне спосабу вымярэння расходу метадам пераменнага перападу ціску; азнаямленне з прыборамі, якія ўжываюцца для вымярэння расходу газу гэтым метадам і набыццё неабходных навыкаў для работы з імі.

9.1. Агульныя звесткі

Колькасць вадкасці, газу або пары, якая праходзіць праз дадзенае сячэнне трубаправода ў адзінку часу, называецца расходам гэтага рэчыва. У залежнасці ад таго, у якіх адзінках ён вымяраецца, адрозніваюць аб'ёмны і масавы расходы. Вымярэнне і кантроль расхода і колькасці рэчываў з мэтай кіравання імі спрыяе павышэнню якасці прадукцыі, правядзенню навуковых даследаванняў. У прамысловасці найбольш часта ўжываюць расхадамеры пераменнага перападу ціску, пастаяннага перападу ціску, электрамагнітныя і пераменнага ўзроўню.

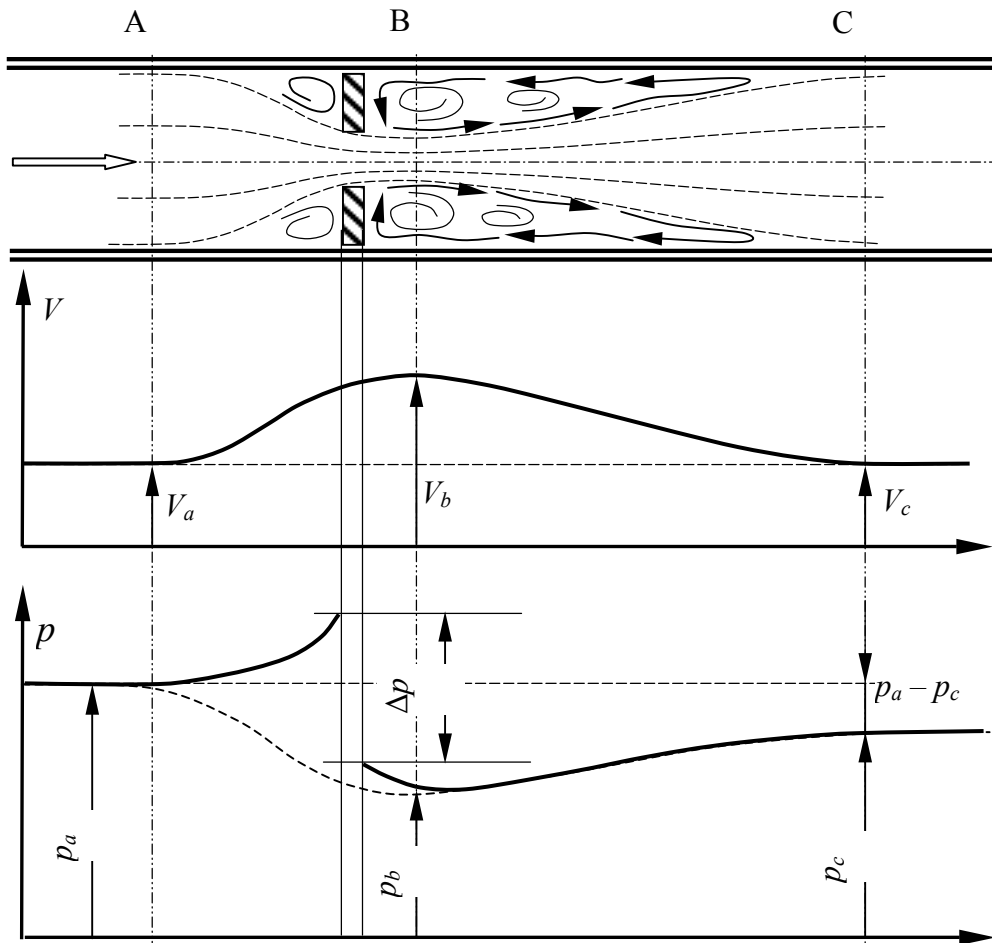
9.1.1. Расхадамеры пераменнага перападу ціску. Прынцып работы расхадамераў пераменнага перападу ціску заснаваны на тым, што са зменай расхода рэчыва змяняецца перапад ціску, які ствараецца звужаючым патокам прыстасавання, ўсталяванага ў трубаправодзе (мал. 9.1).

Расхадамер пераменнага перападу ціску складаецца з устаноўленага на трубаправодзе звужаючага прыстасавання (ЗП), злучальных трубак і вымяральніка перападу ціску, напрыклад U -падобнага дыфманометра. Пры праходжанні рэчыва праз ЗП сярэдняя хуткасць патоку павялічваецца і частка патэнцыйнай энергіі ціску пераходзіць у кінетычную.

У выніку гэтага статычны ціск патоку пасля ЗП памяншаецца, што выклікае перапад ціску Δp на ім (мал. 9.1). Сцісканне патоку пачынаецца перад ЗП за сячэннем А–А і дасягае найбольшай велічыні на некаторай адлегласці ад ЗП у сячэнні В–В, затым паток пашыраецца да поўнага сячэння трубаправоду.

Статычны ціск патоку каля сценкі трубаправода пры падыходзе да ЗП узрастае, што абумоўлена падпорам, і паніжаецца да мінімуму ў месцы найбольшага звужэння патоку.

Далей пры пашырэнні патоку ціск каля сценак павышаецца, але не дасягае ранейшага значэння на велічыню страты, абумоўленую завіхрэннямі, ударам і трэннем (сячэнне С–С).



Мал. 9.1. Змяненне ціску p і сярэдняй хуткасці патоку V пры праходжанні праз дыяфрагму

Перапад ціску на ЗП залежыць ад расходу рэчыва, якое працякае і можа служыць мерай расходу.

Для выражэння залежнасці расходу рэчыва ад перападу ціску на ЗП запішам закон захавання энергіі і ўраўненне непарыўнасці патоку для сячэнняў А–А і В–В:

$$\frac{p_a}{\rho} + \frac{V_a^2}{2} = \frac{p_b}{\rho} + \frac{V_b^2}{2}, \quad (2)$$

$$\frac{V_a}{S_a} = \frac{V_b}{S_b}, \quad (3)$$

дзе p_a і p_b – абсалютныя статычныя ціскі ў сячэннях А–А і В–В; V – сярэднія хуткасці патоку ў гэтых жа сячэннях; S_a і S_b – плошчы сячэнняў патоку; ρ – шчыльнасць рэчыва. Увядзём безразмерныя велічыні: $m = \frac{d^2}{D^2}$ – модуль ЗП; $\mu = \frac{S_b}{S_0}$ – каэфіцыент звужэння патоку

(дзе d – дыяметр ЗП, D – дыяметр трубаправода, S_0 – плошча адтуліны ЗП). Сумеснае рашэнне ўраўненняў (2) і (3) дае

$$V_b = \frac{1}{\sqrt{1-m^2\mu^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_a - p_b)}. \quad (4)$$

Звычайна перапад ціску вымяраюць не ў сячэннях А–А і В–В, а непасрэдна да і пасля звужаючага прыстасавання, а менавіта $\Delta p = p_1 - p_2$. Суадносіны паміж паказанымі перападамі ўстанаўліваюцца з дапамогай папярэдняга каэфіцыента ψ у выглядзе

$$\sqrt{p_a - p_b} = \psi \sqrt{p_1 - p_2}.$$

Тады ўраўненне (4) прымае выгляд

$$V_b = \frac{\psi}{\sqrt{1-m^2\mu^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}, \quad (5)$$

дзе p_1 і p_2 – перапад ціску непасрэдна ў тарцах ЗП.

Аб'ёмны расход Q роўны

$$Q = V_b S_b = V_b \mu S_0, \quad (6)$$

або

$$Q = \frac{\mu\psi}{\sqrt{1-m^2\mu^2}} S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}. \quad (7)$$

Увядзём абазначэнне $\frac{\mu\psi}{\sqrt{1-m^2\mu^2}}$. Гэта велічыня ўлічвае разыхо-

джанне тэарэтычнага і сапраўднага расходу рэчыва, якое працякае па трубаправодзе і называецца каэфіцыентам расходу. Тады аб'ёмны расход вызначаецца па формуле

$$Q = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_1 - p_2)}. \quad (8)$$

Пры вымярэнні расходу сціскаемых рэчываў ва ўраўненне (8) неабходна ўводзіць паправачны каэфіцыент, які ўлічвае пашырэнне рэчыва.

Каэфіцыент расходу залежыць ад геаметрычнай формы і памераў ЗП, фізічных уласцівасцей рэчыва і хуткасці патоку. Для больш практычнага ўжывання формулы (8) аб'ёмны расход выражаецца ў кілаграмах на метр кубічны. Замест секунднага расходу карыстаюцца гадзінным. Плошчу ЗП выяўляюць праз унутраны дыяметр трубаправода D у міліметрах пры рабочай тэмпературы t °С. Пры гэтых умовах асноўная рабочая формула прымае выгляд

$$Q = 0,01252\alpha\epsilon m D^2 K_t^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}, \quad (9)$$

дзе $\Delta p = (p_1 - p_2)$; K_t – паправачны множнік на змену ўнутранага дыяметра трубаправода пры адхіленні тэмпературы ад 20°C; ϵ – каэфіцыент, які ўлічвае пашырэнне рэчыва.

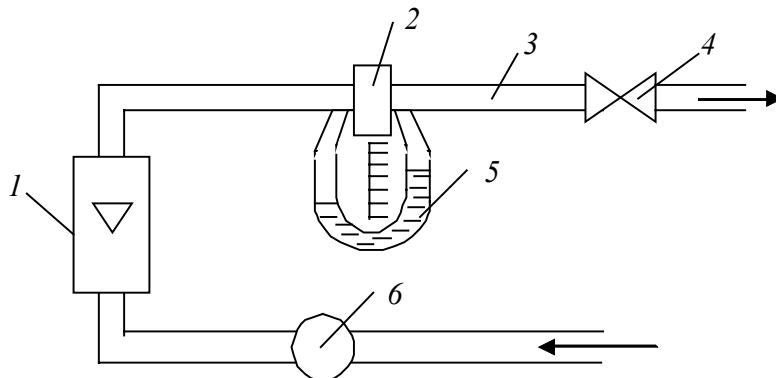
Дыяметр адтуліны ЗП пры тэмпературы яго вырабу (20°C) знаходзяць па роўнасці

$$d = \sqrt{m} \left(\frac{D}{K_t} \right). \quad (10)$$

9.2. Апісанне лабараторнай устаноўкі

Схема лабараторнай устаноўкі прыведзена на мал. 9.2.

У трубаправод 3 ад кампрэсара падаецца сціснутае паветра. Расход паветра можна рэгуляваць вентылем 4, а вымяраць лічальнікам 6 за вызначаны перыяд часу і ратаметрам 1. У трубаправод убудавана звужаючае прыстасаванне 2. Перапад ціску, які ўзнікае на ЗП, вымяраецца 2-трубавым U-падобным дыфманометрам ДТ-4 5.



Мал. 9.2. Схема лабараторнай устаноўкі

Расход паветра разлічваюць па формуле (9), у якой прымаецца $\varepsilon = 1$ і $K_t = 1$.

Перапад ціску, які вызначаецца дыфманометрам, вылічаецца па формуле

$$\Delta p = 0,001 h_{20} \rho_{п} g, \quad (11)$$

дзе h_{20} – рознасць вышынь слупкоў вады ў дыфманометры пры 20 °С, мм; $\rho_{п}$ – шчыльнасць паветра пры нармальных умовах, роўная 1,29 кг/м³; g – паскарэнне свабоднага падзення.

Падстаўляючы выраз (11) у (9), атрымоўваем рабочую формулу аб'ёмнага расходу Q_p , м³/г:

$$Q_p = 0,0461 \alpha m D^2 \sqrt{\frac{h_{20}}{\rho}}. \quad (12)$$

9.3. Парадак выканання работы

Вызначыць эксперыментальна статычныя характарыстыкі ратаметра і дыяфрагмы. Для гэтага:

- 1) усталяваць з дапамогай вентыля 4 расход, які адпавядае 10% шкалы ратаметра I ;
- 2) вымераць перапад ціску Δp ;
- 3) з дапамогай лічыльніка b вызначыць пройдзеную колькасць паветра за 100 с і разлічыць расход Q_3 ;
- 4) паўтарыць пункты 2 і 3 для асноўных значэнняў шкалы ратаметра;
- 5) вынік вымярэнняў занесці ў табліцу.

Табліца

Паказанні ратаметра, %	Паказанні лічыльніка, $Q'_л$	Q_3	Разліковае значэнне, Q_p	Абсалютная хібнасць	Адносная хібнасць, %
10					
...					
90					

- 6) разлічыць значэнне Q_p па формуле

$$Q_p = 0,0461 \alpha \varepsilon m D^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}},$$

дзе $d = 10$ мм; $D = 50$ мм; $\rho = 1,29$ кг/м³; $\alpha = 0,6$; $\varepsilon = 0,99$;

7) разлічыць значэнне абсалютнай і адноснай хібнасцей.

9.4. Змест справаздачы

Справаздача па дадзенай рабоце павінна ўключаць: табліцу вымераных і вылічаных значэнняў; вылічэнне метралагічных характарыстык; вывады аб прыгоднасці прыбораў да эксплуатацыі шляхам параўнання класа дакладнасці з максімальна дапушчальнай хібнасцю.

Кантрольныя пытанні

1. У чым заключаецца прынцып работы ЗП?
2. Растлумачыць значэнне каэфіцыентаў.

Лабараторная работа № 10 ДАСЛЕДАВАННЕ МЕТРАЛАГІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК УЗРОЎНЯМЕРАЎ

Мэта работы: вивучэнне прынцыпу работы прыбора, канструкцый і метралагічных характарыстык буйковага, электрычнага ёмістага і ультрагукавага ўзроўнямераў.

10.1. Агульныя звесткі

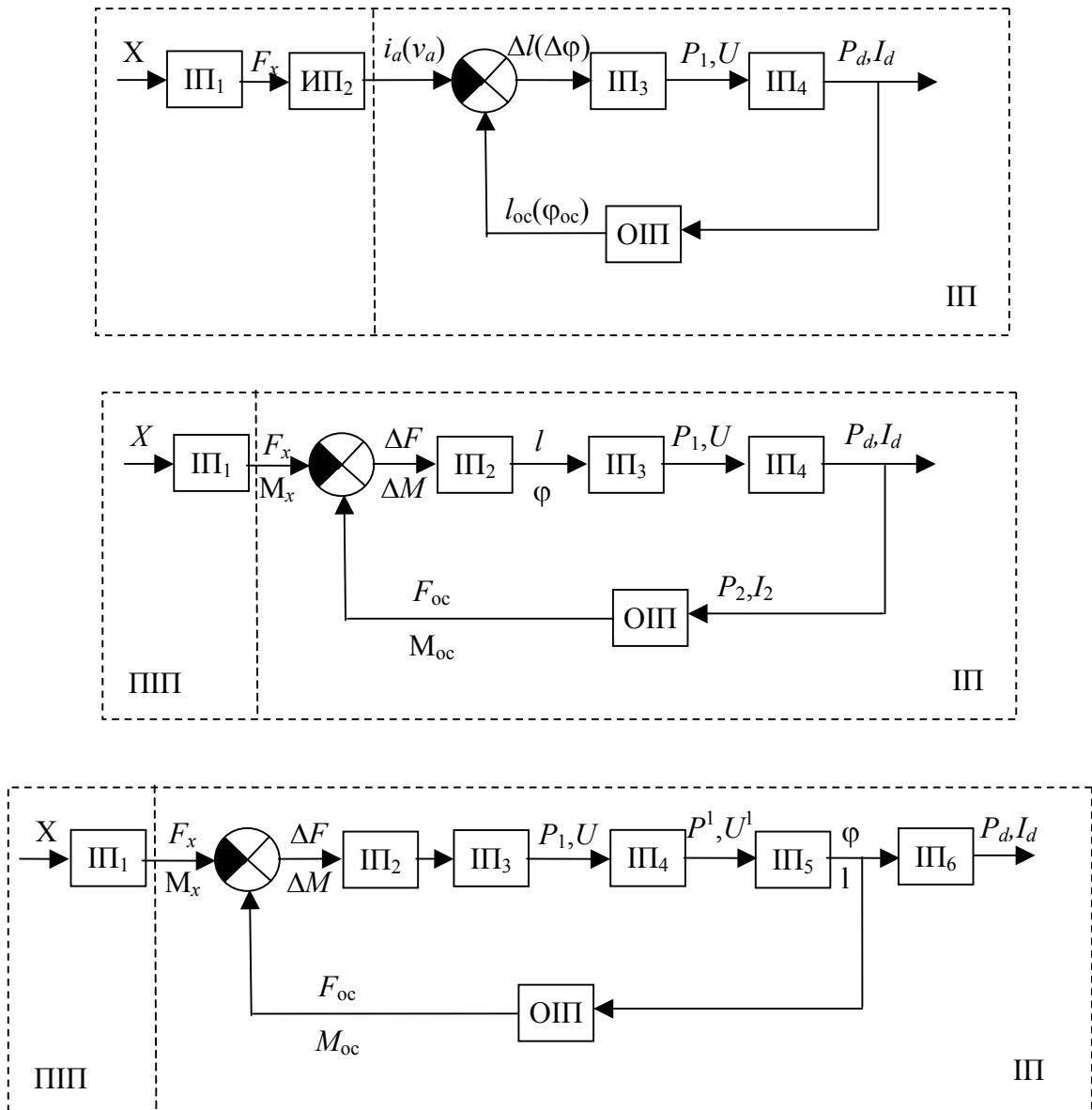
Разнастайнасць ужываемых тыпаў вымяральных пераўтваральнікаў, павышэнне патрабаванняў да дакладнасці і надзейнасці работы сістэм прыводзяць да неабходнасці выкарыстання уніфікаванага сігналу як універсальнага сродку сувязі для перадачы інфармацыі. Адсутнасць уніфікаванага сігналу на выхадзе пераўтваральнікаў выклікае звычайна значнае павелічэнне колькасці першасных прыбораў, што ўскладняе схемы аўтаматыкі. Таму для першасных пераўтваральнікаў, выхадны сігнал якіх не уніфікаваны, выкарыстоўваюцца нармуючыя пераўтваральнікі.

Уніфікаваныя пераўтваральнікі могуць быць канструктыўна аб'яднаныя ў адзінае цэлае з першаснымі пераўтваральнікамі або ў выглядзе асобных блокаў.

Вялікая колькасць тэхналагічных велічынь лёгка пераўтвараецца ў сілу, лінейнае або вуглавое перамяшчэнне. Да іх адносяцца: ціск, шчыльнасць, узровень, глейкасць, тэмпература, частата вярчэння і інш. У сістэме ГСП для вымярэння гэтых велічынь пабудаваны датчыкі з механічным кампенсаваннем вымяраемай велічыні. Яны складаюцца з першаснага вымяральнага пераўтваральніка вымяраемай велічыні ў сілу (або перамяшчэнне) і уніфікаванага вымяральнага пераўтваральніка сілы (або перамяшчэнні) для далейшага яе пераўтварэння ў стандартны пнеўматычны або электрычны сігнал.

Уніфікаваныя сілы або перамяшчэнні ў стандартныя сігналы ГСП могуць быць пабудаваны па трох схемах (мал. 10.1).

Схема кампенсавання перамяшчэння мае першасны вымяральны пераўтваральнік (ПВП) з выхадной велічынёй у выглядзе перамяшчэння (мал. 10.1, *a*). У ПВП тэхналагічная велічыня X пераўтвораецца ў сілу F_x , а затым у перамяшчэнне L_x або вугал павароту φ_x . Пераўтваральнік перамяшчэння са зваротнай сувяззю ІІ мае уніфікаваны сігнал ціску P_B або току I_B .



Мал. 10.1. Схемы пабудавання уніфікаваных сіл і і перамяшчэння ў стандартныя сігналы ГСП

У статычнай схеме з сілавым кампенсаваннем (мал. 10.1, б) вымяраемая велічыня F_x , пераўтвораная ў сілу (або момант M_x) першасным пераўтваральнікам, кампенсуецца ўзмацненнем $F_{3.c}$ ($M_{3.c}$), што развіваецца ў ІІІ ланцугом зваротнай сувязі ОШ. З прычыны статызму сістэмы поўная роўнасць F_x і $F_{3.c}$ недасягальная, паколькі вымяраемае ўзмацненне F_x часткова растрачваецца на пераадоленне сіл трэння і жорсткасці ў сістэме.

Астатычная схема (мал. 10.1, в) з поўным сілавым кампенсаваннем утрымлівае інтэгруючае зв'язно Π_4 у прамым ланцугу пераўтварэння Π . Пры гэтым ураўнаважанне F_x узмацненнем зваротнага вымяральнага пераўтваральніка ОП $F_{з.с}$ адбываецца да парога адчувальнасці індикатара разузгаднення Π_2 .

У першай структурнай схеме ПВП не ахоплены зваротнай сувяззю і ўсе яго хібнасці ўвойдуць у хібнасць датчыка. У схеме з сілавым кампенсаваннем перамяшчэнні адчувальных пругкіх элементаў не робяць прыкметнага ўплыву на хібнасць датчыка ў цэлым. У астатычнай структурнай схеме выкарыстоўваецца шэраг дадатковых пераўтваральнікаў, што ўскладняе канструкцыю датчыкаў.

У сувязі з гэтым усе датчыкі ГСП маюць канструктыўна ўбудаваны пераўтваральнік сілы ў электрычны або пнеўматычны сігнал. Гэтыя пераўтваральнікі выпускаюцца асобнымі блокам і могуць быць выкарыстаны для пераходу ад адных фізічных велічынь да другіх.

10.1.1. Пнеўмаўзроўнямер буйковага тыпу. У пнеўмаўзроўнямеры буйковага тыпу УБ-П выкарыстоўваецца уніфікаваны пнеўмасілавы пераўтваральнік ПП.

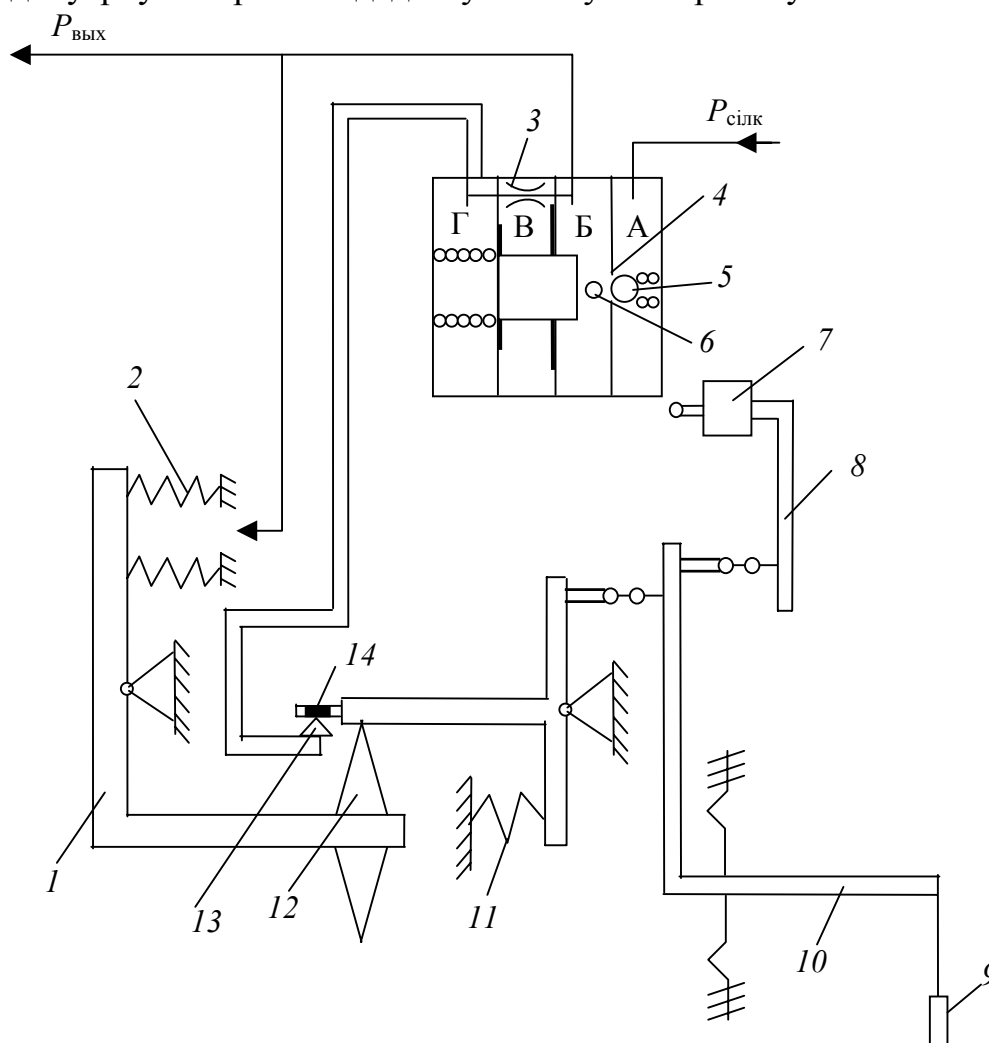
Узроўнямер складаецца з вымяральнага блока і уніфікаванага пнеўмапераўтваральніка (мал. 10.2).

Пры змене вымяраемага ўзроўню вадкасці на адчувальным элеменце (буйку) 9 вымяральнага блока ўзнікае ўзмацненне, якое праз сістэмы цяг і рычагоў перамяшчае засланку 14 пнеўмапераўтваральніка.

Ціск сілкавання падаецца ў камеру А. Паветра сілкавання праз прыадчынены шарыкавы клапан 4 падаецца ў камеру Б і праз дросель 3 – у камеру В. У выпадку набліжэння засланкі 14 да сапла 13 ціск у камеры Г узрасце, і пад уздзеяннем яго шарык 6 прыадчыніць верхняе сядло клапана 4, а шарык 5 – ніжняе. Ціск у камеры Б таксама ўзрасце. Гэты ціск з'яўляецца выхадным сігналам пераўтваральніка. Адначасова ён паступае ў сільфон зваротнай сувязі 2, які стварае момант на Г-падобным рычагу 1, што ўраўнаважваецца ад сілы, якая выштурхоўвае буёк.

Адчувальны элемент (буёк) 9 падвешваецца да канца рычага 10. У дадзенай лабараторнай рабоце вага буйка вызначаецца з дапамогай дынамометра, пачатковая вага якога ўраўнаважваецца з дапамогай грузу 7, замацаванага на рычагу 8.

Спружина 11 прызначана для ўстаноўкі пачатковага значэння выхаднога сігналу, роўнага 0,02 МПа. Рухомая апора 12 служыць для наладкі ўзроўнямера на задзеную мяжу вымярэнняў.



Мал. 10.2. Прынцыповая схема ўзроўнямера буйковага тыпу

10.1.2. Электрычны ўзроўнямер ёмістага тыпу. Узроўнямеры тыпу РУС прызначаны для вымярэння ўзроўню электраправодных і неэлектраправодных вадкасцей, якія захоўваюць свае аграгатныя станы ў інтэрвале працоўных тэмператур і ціскаў, а таксама агрэсіўных і выбухованебяспечных вадкасцей.

Узроўнямеры выпускаюцца звычайнага (РУС-А) і выбухованебяспечнага (РУС-В) выкананняў.

У склад узроўнямера ўваходзіць першасны пераўтваральнік (ПП) і перадаючы вымяральны пераўтваральнік (П).

Тэмпература кантралюемага асяроддзя – ад -250 да $+250^{\circ}\text{C}$.

Адносная дыэлектрычная пранікальнасць кантралюемага асяроддзя – не меней за 1,2. Дыяпазон вымярэння ўзроўню – ад 0,2 да 20 м.

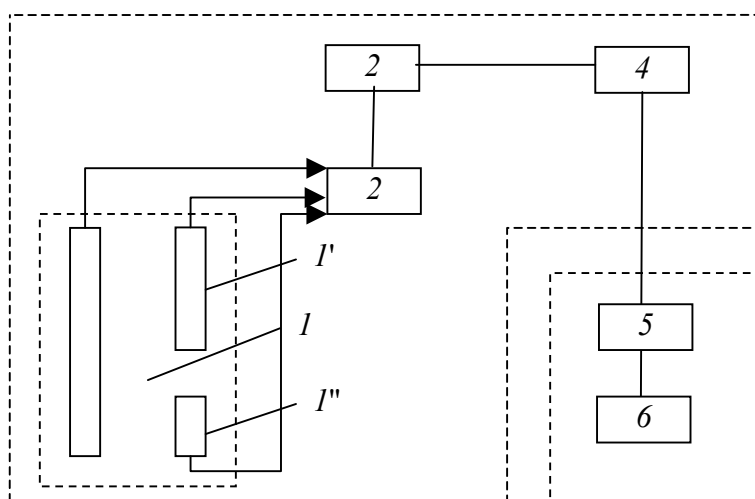
Клас дакладнасці ў залежнасці ад дыяпазону вымярэння – ад 0,5 да 2,5. Выхадны уніфікаваны сігнал – 0–5, 0–20, 4–20 мА.

Знешняя нагрузка ў ланцугу выхаднога сігнала для сігналаў 0–5 мА – не больш як 2,5 кОм; для сігналаў 0–20 і 4–20 роўная 1 кОм.

Зона неадчувальнасці – не больш чым 0,5 у межах дапушчальнай асноўнай хібнасці.

Павелічэнне хібнасці ўзроўнямера не перавышае 0,6% на кожны 10°C змены тэмпературы паветра, якое акружае ПП (ад 20°C).

Першасны пераўтваральнік уключае ў сябе ёмісты адчувальны элемент (АЭ) 1 і прылады 2, 3, 4 для пераўтварэння ёмістасці АЭ у электрычны сігнал (мал. 10.3).



Мал. 10. 3. Прынцыповая схема ўзроўнямера ёмістага тыпу

Вымяральны перадаючы пераўтваральнік складаецца з узмацняльніка зваротнай сувязі 5 і ўзмацняльніка-фарміравальніка 6 уніфікаванага выхаднога сігнала.

Ёмісны АЭ 1 ПП мае дзве часткі: вымяральную I' , якая вызначае дыяпазон вымярэнняў, і кампенсуючую I'' , размешчаную ніжэй за вымяральную і прызначаную для фарміравання сігнала кампенсавання памылкі, што ўзнікае пры змене дыэлектрычных уласцівасцей асяроддзя. Пры рабоце частка I'' павінна быць пастаянна заліта кантраляванай вадкасцю.

ПП з кампенсуючай часткай прымяняецца толькі для кантро-

лю ўзроўню неэлектраправодных асяроддзяў. Пры вымярэнні ўзроўню электраправодных вадкасцей кампенсацыйная частка ў ПП адсутнічае і замяняецца кандэнсатарам пастаяннай ёмістасці ў схеме прыстасавання 2.

АЭ ПП падключаецца да ўваходу прылады 2. У прыладах 4, 5 ёмістасць вымяральной і кампенсацыйнай частак пераўтворацца ў электрычны сігнал, які падаецца ў ПП на ўваход узмацняльніка зваротнай сувязі 5. З выхаду ўзмацняльніка 5 сігнал падаецца на ўваход прылады 2 і на ўваход узмацняльніка-фарміравальніка 6, які пераўтварае гэты сігнал ва уніфікаваны ўваходны сігнал пастаяннага току 0–5, 0–20 або 4–20 мА.

Становішча ўзроўню вадкасці ў аб'екце кантролю вызначае велічыню ёмістасці C_v вымяральной часткі АЭ, якая вылічваецца па формуле

$$\tilde{N}_a = \tilde{N}_i + Kh / H,$$

дзе C_p – пачатковая ёмістасць вымяральной часткі пры адсутнасці вадкасці; K – каэфіцыент прапарцыянальнасці, які характарызуе канструкцыю АЭ і параметры кантралюемага асяроддзя; h – бягучае значэнне ўзроўню вадкасці; H – дыяпазон вымярэння ўзроўню. Пры адсутнасці вадкасці ($h = 0$) $C_v = C_p$. Пры гэтым сігнал на выхадзе прылады параўнання 2 роўны нулю.

З ростам узроўню павялічваецца ёмістасць вымяральной часткі C_v , што выклікае змену сігналу на выхадзе прылады 2, які пасля пераўтварэння ў прыладзе 4 падаецца на ўваход узмацняльніка 5.

Пры памяншэнні ўзроўню ёмістасць вымяральной часткі C_v памяншаецца, што выклікае змену сігналу процілеглага знака на выхадзе прылады 2.

ПП уключае ёмісты АЭ з электродамі вызначанага выгляду і электронны пераўтваральнік, размешчаны ў галоўцы.

Для мацавання на рэзервуары з кантралявальнай вадкасцю ПП у залежнасці ад тэмпературы і ціску кантралюемага асяроддзя мае штуцэр або фланец.

Пры вымярэнні ўзроўню электраправодных вадкасцей выкарыстоўваецца ПП, якія маюць толькі вымяральную частку. У ПП для вымярэння ўзроўню электраправодных вадкасцей адзін з электродаў пакрыты ізаляцыйным пластом і выкананы ў выглядзе проваду U -падобнай формы: без апорнай часткі (канструкцыйнае выкананне

ПОФ), з апорнай часткай (канструкцыйнае выкананне ПСФ, ПТФ). У якасці ізаляцыі выкарыстаны фтарыпласт.

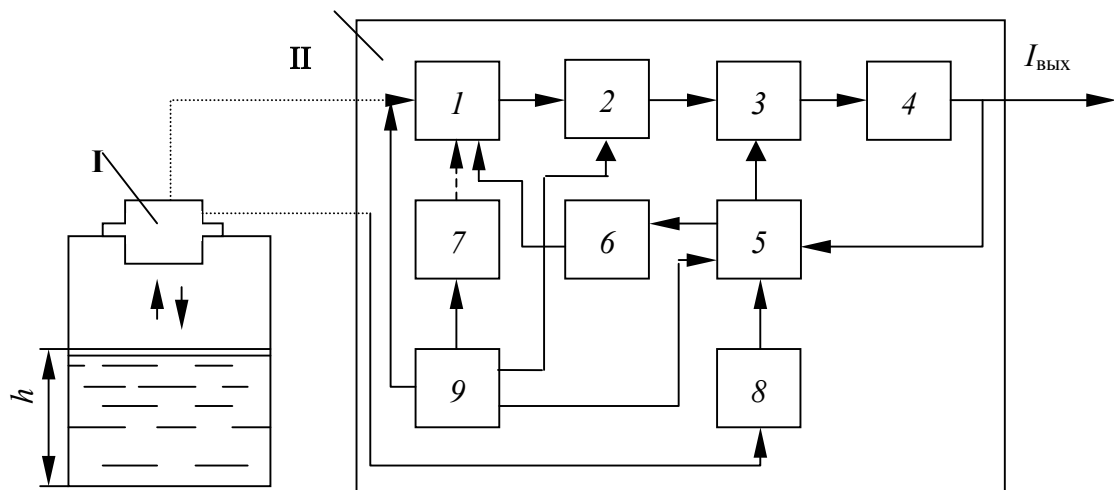
Месца мацавання ПП павінна быць вылучана так, каб геаметрычная вось ПП, уздоўж якой адбываецца вымярэнне ўзроўню, супадала з вертыкаллю. Адхіленне ад вертыкалі не павінна перавышаць адзінку. Адлегласць ад восі ПП да сценак унутраных канструкцый рэзервуара павінна быць не меней як 200 мм.

Пі можа ўстанаўлівацца на шчытах, пультах кіравання, на кранштэйнах і г. д. Не дапускаецца ўстаноўка ПП каля батарэй ацяплення, электрычных печаў і іншых крыніц цяпла.

10.1.3. Ультрагукавы ўзроўнямер. У адпаведнасці з гэтым прынцыпам вымярэнне ўзроўню здзяйсняюць па часу праходжання ультрагукавымі ваганнямі адлегласці ад выпраменьвальніка да мяжы падзелу двух асяроддзяў і назад да прыёмніка выпраменьвання. Лакацыя мяжы падзелу двух асяроддзяў здзяйсняецца або з боку газу, або з боку рабочага асяроддзя.

Перавагай акустычных узроўнямераў з'яўляецца незалежнасць іх паказанняў ад фізіка-хімічных уласцівасцей і складу рабочага асяроддзя. Гэта дазваляе выкарыстаць іх для вымярэння ўзроўню неаднародных вадкасцей, якія крышталізуюцца і выпадаюць у асадак. Да недахопаў неабходна аднесці ўплыў на паказанні ўзроўнямераў тэмпературы, ціску і складу газу.

Акустычныя ўзроўнямеры ўяўляюць сабой спалучэнне першаснага, прамежкавага, а ў некаторых выпадках і перадаючага вымяральных пераўтваральнікаў. На мал. 10.4 прыведзена схема акустычнага ўзроўнямера вадкіх асяроддзяў.



Узроўнямер складаецца з першаснага I і прамежкавага II пераўтваральнікаў. Першасны пераўтваральнік уяўляе сабой п'езаэлемент, які выконвае адначасова функцыі крыніцы і прыёмніка ультрагукавых ваганняў. Пры вымярэнні генератар 9 з вызначанай частатой выпрацоўвае электрычныя імпульсы, якія пераўтвараюцца п'езаэлементам I ва ультрагукавыя. Апошнія распаўсюджваюцца ўздоўж акустычнага тракта, адлюстроўваюцца ад мяжы падзелу «вадкасць – газ» і ўспрымаюцца тым жа п'езаэлементам, які пераўтварае іх у электрычныя імпульсы. Пасля ўзмацнення прыстасаваннем 1 імпульсы падаюцца на схему вымярэння 2 часу адлюстравання сігнала, дзе яны пераўтвараюцца ў прамавугольныя імпульсы вызначанай працягласці. У ячэйцы параўнання 3 здзяйсняецца параўнанне імпульсу, які падаецца са схемы 2, з працягласцю імпульсу, што падаецца з элемента зваротнай сувязі 5, які пераўтворае уніфікаваны токавы сігнал у прамавугольны імпульс вызначанай працягласці. Калі працягласць імпульсу схемы вымярэння 2 адрозніваецца ад працягласці імпульсу ланцуга зваротнай сувязі, то на выхадзе ячэйкі параўнання 3 з'яўляецца сігнал разбалансу, які ўзмацняльна-пераўтваральнай прыладай 4 змяняе выхадны уніфікаваны токавы сігнал, пакуль не будзе дасягнута роўнасць працягласці імпульсаў. Для памяншэння ўплыву тэмпературы на сігнал вымяральной інфармацыі прадугледжаны блок тэмпературнага кампенсавання 8. Кантроль за работай электрычнай схемы здзяйсняецца блокам кантролю 7. Выключэнне ўплыву рознага роду перашкод на работу прамежкавага пераўтваральніка дасягаецца з дапамогай перашкодаахоўнага прыстасавання 6.

У рабоце вывучаецца ўзроўнямер «Probe» фірмы «Milltronics Sonic-Intelligence».

Прыбор «Probe» – ультрагукавы датчык узроўню, які аб'ядноўвае першасны ультрагукавы пераўтваральнік і электронны блок у адным прыборы.

Для кампенсавання хібнасці вымярэнняў, якія ўзнікаюць пры ваганнях тэмпературы, «Probe» мае ўбудаваны датчык тэмпературы. Першасны пераўтваральнік выпраменьвае ультрагукавыя ваганні, якія адлюстроўваюцца ад паверхні вымяраемага матэрыялу і счытваюцца пераўтваральнікам як рэха.

Рэха-сігнал апрацоўваецца прыборам «Probe» па запатэнтаваных тэхналогіях фірмы «Milltronics Sonic Intelligence». Гэта дазваляе ўпэўнена адрозніваць шум і праўдзівы рэха-сігнал. Час праходжання імпульсу да матэрыялу і зваротна з улікам тэмпературнага кампенсавання пераўтворацца ў электронным блоку ў адлегласць, якая адлюстроўваецца на дысплеі, у токавы выхад, а таксама можа выкарыстоўвацца для актывізацыі рэле.

Прыбор «Probe» мае магчымасць лічбавай сувязі для збору даных і дыстанцыйнага кіравання пры дапамозе Hart-пратакола.

Сілкаванне – 18–30 В пастаяннага току, выхад – 4–20 мА.

10.1.4. Методыка паверкі ўзроўнямера буйковага тыпу. Для паверкі неабходна:

- 1) замацаваць дынамометр на канцы рычага *l*0;
- 2) устанавіць ціск сілкавання 1,4 кг/см²;
- 3) правесці паверку ўзроўнямера шляхам устанаўлення на дынамометры пачатковай нагрузкі, роўнай 2 кгс, якая імітуе пачатковую вагу буйка.

Далей, павялічваючы нагрузку на 0,5 кгс, давесці яе на дынамометры да верхняга значэння, роўнага 5 кгс. Зрабіць вымярэнні пры зваротным ходзе;

- 4) вынікі вымярэнняў занесці ў табл. 1.

Табліца 1

№ п/п	Прамы ход		Зваротны ход		<i>P</i> , кгс/см ²	Адносная прыведзеная хібнасць,%		Варыяцыя
	<i>G</i> , кгс	<i>P</i> , кгс/см ²	<i>G</i> , кгс	<i>P</i> , кгс/см ²		прамы ход	зваротны ход	
1	1,2		1,2		0,2			
2	1,4		1,4		0,36			
3	1,6		1,6		0,52			
4	1,8		1,8		0,68			
5	2,0		2,0		0,84			
6	2,2		2,2		1,0			

10.1.5. Методыка паверкі ўзроўнямера ёмістага тыпу. Для паверкі неабходна:

- 1) уключыць уніфікаваны пераўтваральнік;
- 2) устанавіць магазін ёмістасцей на нуль;
- 3) зрабіць паверку ўзроўнямера ў дыяпазоне ёмістасцей ад 0 да 10 мкф. Паверка праводзіцца пры прамым і зваротным ходзе;
- 4) вынікі вымярэнняў занесці ў табл. 2.

Табліца 2

№ п/п	Прамы ход		Зваротны ход		I, мА	Адносная прыведзеная хібнасць, %		Варыяцыя
	C, нФ	I, мА	C, нФ	I, мА		прямы ход	зваротны ход	
1	1,1		1,1		6,7			
2	1,2		1,2		16			
3	1,3		1,3		23			
4	1,4		1,4		35			
5	1,5		1,5		45,5			
6	1,6		1,6		56			
7	1,7		1,7		66,5			
8	1,8		1,8		77,5			
9	1,9		1,9		87,5			
10	2,0		2,0		97,5			

Парадак правядзення вымярэнняў па паверцы ультрагукавога ўзроўнямера:

1) уключыць блок сілкавання, упэўніўшыся ў правільна ўстаноўленым напружанні (24 В);

2) правесці каліброўку «Probe» на адлегласцях 0,25–1 м: выхадны токавы сігнал, роўны 4 мА, павінен адпавядаць узроўню 0,25 м, а сігнал 20 мА – узроўню 1 м. Праверыць прапарцыянальнасць паказанняў у пунктах 0,5 і 0,75 м;

3) правесці каліброўку зваротна прапарцыянальна ўзроўню: 4 мА – 1 м, 20 мА – 0,25 м і аналагічна праверыць адпаведнасць у пунктах 0,5 і 0,75 м.

Вымярэннем узроўню з дапамогай лінейкі вызначыць абсалютную хібнасць паказанняў.

Метралагічныя характарыстыкі «Probe»:

- дыяпазон вымярэнняў – 0,25–5 м;
- вугал праменя – 10°;
- выхадны сігнал – 4–20 мА;
- хібнасць – 0,25% верхняй мяжы вымярэнняў.

Зрабіць вывад аб магчымасці выкарыстання.

Адносную хібнасць і варыяцыю вызначаюць у токах дыяпазону вымярэння (узроўню), адпаведных ніжняму і верхняму лімітавым значэнням і 4–5 значэнням пры прамым і зваротным ходзе. Вызначэнне адноснай хібнасці праводзіцца шляхам параўнання сапраўдных значэнняў выхаднога сігналу з таблічнымі. За абсалютную хібнасць прымаюць найбольшую з атрыманых значэнняў хібнасці.

Адносная хібнасць вызначаецца па формуле

$$\delta = \frac{P_{\text{л}} - P_{\text{табл}}}{P_{\text{л}}} \cdot 100\%,$$

дзе $P_{\text{л}}$ – значэнне выхаднога сігналу, атрыманага падчас лабараторнай работы; $P_{\text{табл}}$ – сапраўднае значэнне выхаднога сігналу.

Варыяцыя V вызначаецца па формуле

$$V = \frac{S_1 - S'}{S_{\text{max}} - S_{\text{min}}} \cdot 100\%,$$

дзе S_1 – сапраўднае значэнне выхаднога сігналу, адпаведнае павяраемай велічыні пры прамым ходзе; S' – сапраўднае значэнне выхаднога сігналу, адпаведнае павяраемай велічыні пры зваротным ходзе.

10.2. Змест справаздачы

Справаздача павінна ўключаць: кароткі змест работы, тэхнічныя і метралагічныя характарыстыкі сродкаў вымярэння і паверкі, прыцыповыя схемы ўзроўнямераў; эксперыментальныя даныя па вызначэнні абсалютнай хібнасці ўзроўнямераў і варыяцыі; статычныя залежнасці выхаднога сігналу ад уваходнага.

Лабараторная работа № 11 ДАСЛЕДАВАННЕ МЕТРАЛАГІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ПЕРАЎВАРАЛЬНІКАЎ РОДУ СІГНАЛАЎ

Мэта работы: азнаямленне з прынцыпам дзеяння і канструкцыяй пнеўмаэлектрычных пераўтваральнікаў; вызначэнне іх метралагічных характарыстык.

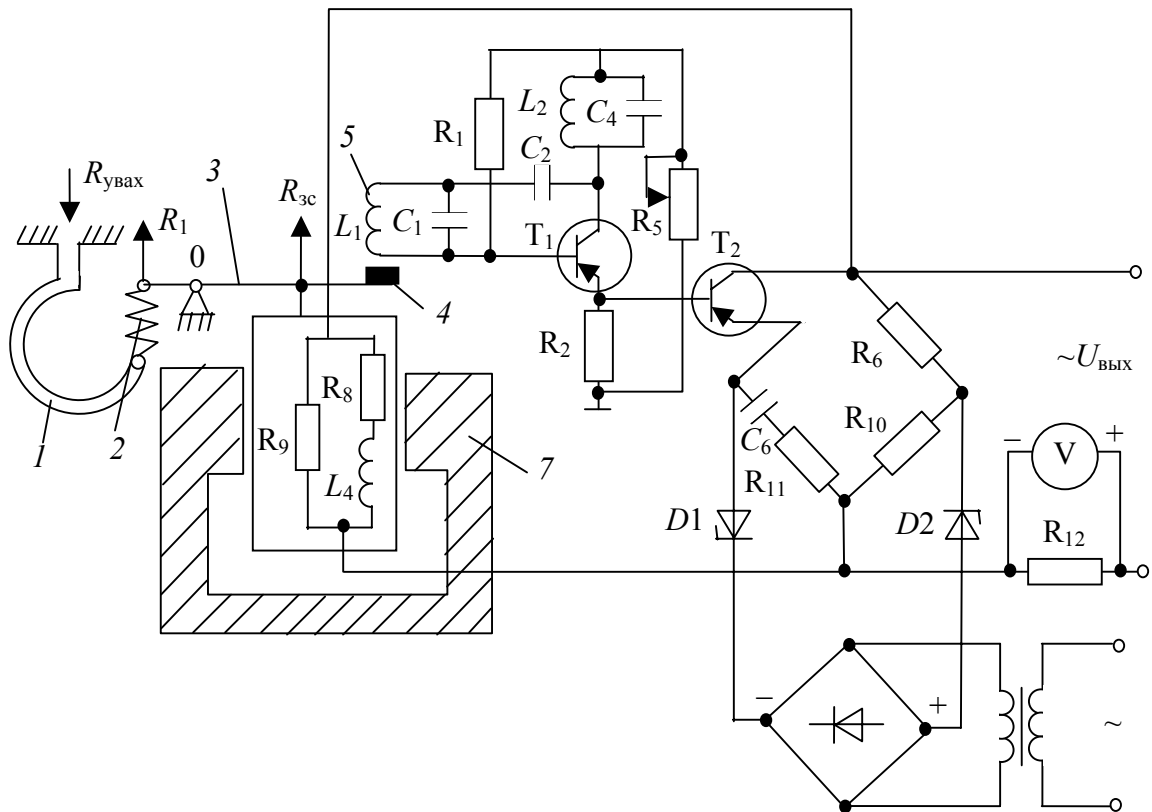
11.1. Агульныя звесткі

Пераўтваральнік пнеўмаэлектрычнага тыпу ПЭ-55М пераўтварае уніфікаваны пнеўматычны бесперапынны сігнал (ад 0,02 МПа да 0,1 МПа) ва уніфікаваны электрычны бесперапынны сігнал (ад 0 да 5 мА), прызначаны для сувязі пнеўматычных аналагавых прыбораў і прылад з электрычнымі машынамі і электрычнымі прыборамі.

Электрычная прынцыповая схема прыбора прыведзена на мал. 11.1.

Дадзены ПЭП працуе па прынцыпу кампенсавання момантаў сіл. Пераўтваральны пнеўматычны сігнал $P_{уваж}$ паступае ў трубчастую спружыну 1 (мал. 11.2), якая пад дзеяннем ціску раскручваецца. Яе свабодны канец перамяшчаецца ўверх і расцягвае спружыну 2. Расцяжэнне апошняй выклікае з'яўленне сілы R_1 , якая перадаецца рычагу 3 і стварае на ім момант M_1 , што імкнецца павярнуць рычаг 3 вакол пункта О. На канцы рычага ўмацаваны металічны сцяжок 4, які пры павароце рычага набліжаецца да плоскай шпулькі 5. Перамяшчэнне яго змяняе параметры рэзананснага контура (L_1, C_1) генератара, сабранага на транзістары T_1 , з прычыны чаго змяняецца ступень сувязі паміж контурамі (L_1, C_1) і (L_2, C_4). Пры гэтым змяняецца велічыня пастаяннага складальнай сігналу на рэзістары R_2 . Пастаянная напружанне ўзмацняецца пры дапамозе маставага ўзмацняльнага каскада, які складаецца з транзістара T_2 і рэзістараў R_6, R_{10}, R_{11} .

Гальванометр працуе наступным чынам. У дыяганаль моста паслядоўна ўключаецца нагрузка R_8 і шпулька адмоўнай зваротнай сувязі L_4 , умацаваная на рычагу і змешчаная ў поле пастаяннага магніта. Пры працяканні па шпульцы пастаяннага току вакол яе ўзнікае пастаяннае па накірунку электрамагнітнае поле, якое ўзаемадзейнічае з полем магніта 7. Пры гэтым на шпульку L_4 , злучаную з рычагам 3, дзейнічае сіла $R_{зс}$.



Мал. 11.1. Электричная принципальная схема пераўтваральніка ПЭ-55М

Гэта сіла стварае на рычагу вярчальны момант M_2 , накіраваны процілегла моманту M_1 . Перамяшчэнне рычага 3 адбываецца да таго часу, пакуль моманты M_1 і M_2 не стануць роўнымі. Паміж сілай R_1 і вымяраемым ціскам $P_{ув}$, а таксама паміж сілай R_{3c} і токам I мае месца залежнасць

$$R_1 = k_1 p_{ув},$$

$$R_{3c} = k_2 I,$$

дзе k_1 – каэфіцыент пераўтварэння трубчастай спружыны 1; k_2 – каэфіцыент пераўтварэння магнітаэлектричнага пераўтваральніка элемента, які складаецца са шпулькі L_4 і магніта 7. Паколькі $M_1 = M_2$, то $I = k P_{ув}$, дзе $k = \frac{A O k_2}{O B k_1}$ – каэфіцыент пераўтварэння ПЭП.

Рэзістары R_8 , R_9 дазваляюць рэгуляваць глыбіню зваротнай сувязі і тым самым змяняюць дыяпазон дзеяння прыбора.

Прыбор забяспечаны карэктарам нуля R_5 , г. зн. перамяшчэннем ручкі патэнцыёметра ток у ланцугу зводзіцца да нуля.

Сілкаванне ўзмацняльнага каскада і генератара здзяйсняецца ад уласнага выпраменьвальніка са стабілітронамі D_1 і D_2 , прычым D_2 уключаны адначасова ў ланцуг эмітэра транзістара T_2 , што неабходна для кампенсавання пачатковага ўзроўню пастаяннага напружання на рэзістары R_2 .

Пераўтваральнік мае наступныя тэхнічныя характарыстыкі:

- клас дакладнасці – 1,0;
- варыяцыя выхаднога сігнала прыбора не перавышае паловы мяжы асноўнай дапушчальнай хібнасці;
- прыбор вытрымлівае ўздзеянне вібрацыі частатой да 25 Гц з амплітудай не больш за 0,1 мм;
- электрычнае сілкаванне прыбора здзяйсняецца ад сеткі пераменнага току напружання $220 + 22$ В частатой $50 + 1$ Гц;
- супраціўленне нарузкі з улікам лініі сувязі – ад 0 да 2,5 кОм;
- спажываемая магутнасць – не больш за 3 Вт.

Пераўтваральнік электрапнеўматычны тыпу ЭПП неабходны ў тых выпадках, калі ў пнеўматычную сістэму кіравання патрабуецца ўвесці інфармацыю аб тэхналагічных параметрах, якая паступае ад вымяральных пераўтваральнікаў з уніфікаваным токавым сігналам, а таксама калі аўтаматычная сістэма кіравання з'яўляецца электрычнай, а яе камандны сігнал пасылаецца на пнеўматычны выканаўчы механізм.

Шырокае распаўсюджванне атрымалі электрапнеўматычныя пераўтваральнікі (ЭПП), работа якіх заснавана на прынцыпе кампенсавання высілкаў (мал. 11.2).

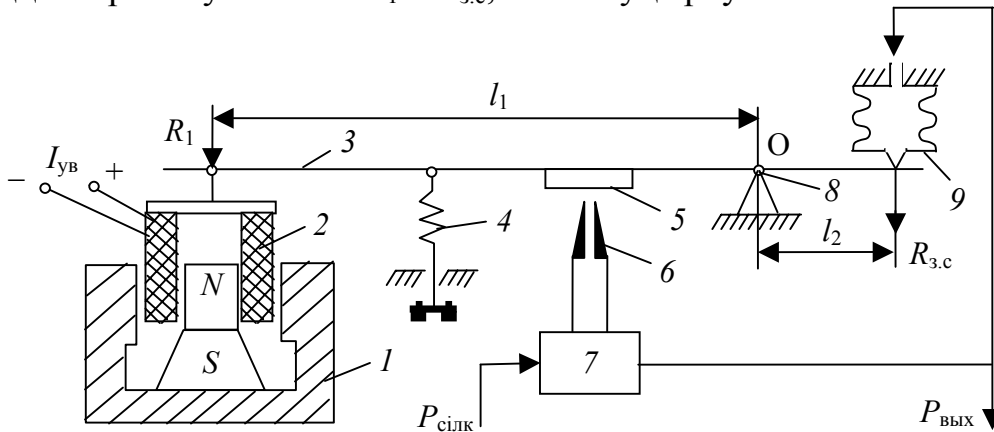
У ЭПП, пабудаваным на гэтаму прынцыпу, уваходны уніфікаваны сігнал $I_{ув}$ паступае на шпульку 2 магнітаэлектычнага пераўтваральнага элемента, і створае пры гэтым яе электрамагнітнае поле ўзаемадзеяе з полем пастаяннага магніта I . У выніку ствараецца намаганне

$$R_1 = BlnI_{\text{оа}},$$

дзе B – магнітная індукцыя; l і n – параметры шпулькі.

Намаганне перамяшчае шпульку ў кальцавым зазоре магніта і паварочвае рычаг 3 вакол пункта O апоры 8. Пры гэтым засланка 5, размешчаная на рычагу 3, змяняе сваё становішча адносна сапло 6, што змяняе ціск $P_{\text{вых}}$ на выхадзе пнеўмаўзмацняльніка 7. Ціск $P_{\text{вых}}$ паступае на сільфон 9 зваротнай сувязі і стварае кампенсавальнае на-

маганне $R_{3.c}$. Рух рычага працягваецца, пакуль моманты, якія ствараюцца на рычагу 3 сіламі R_1 і $R_{3.c}$, не стануць роўнымі.



Мал. 11.2. Схема электрапнеўматычнага пераўтваральніка

У стане раўнавагі справядлівая роўнасць

$$P_{\text{аўò}} = \frac{Blnl_1}{F_{\text{эф}}l_2} I_{\text{аўò}} = kI_{\text{аўò}},$$

дзе k – каэфіцыент пераўтварэння ЭПП; $F_{\text{эф}}$ – эфектыўная плошча сільфона.

Усталяванне пачатковага ўзроўню выхаднога сігнала пераўтваральніка здзяйсняецца з дапамогай спружыны 4.

Класы дакладнасці электрапнеўматычнага пераўтваральніка – 1,0 і 1,5.

11.2. Апісанне лабараторнага стэнда

Паверка пераўтваральнікаў здзяйсняецца з дапамогай лабараторнага стэнда, схема якога паказана на мал. 11.3.

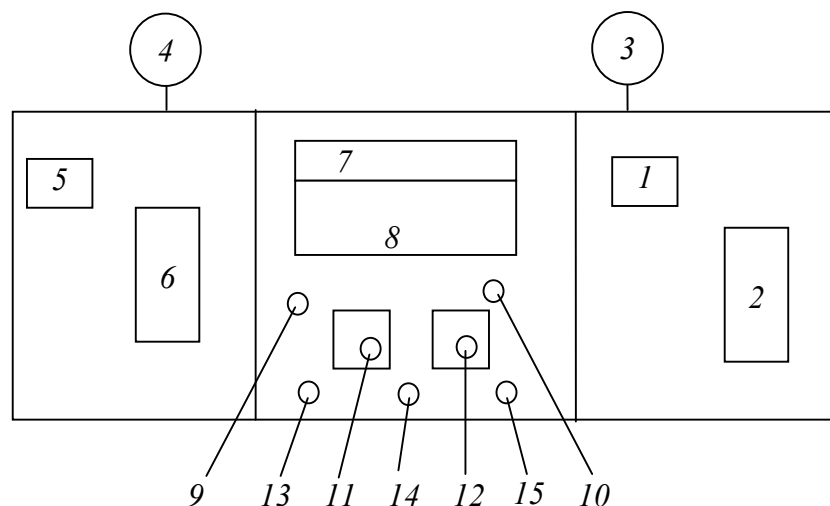
Лабараторны стэнд складаецца з асноўнага (1, 2, 3, 7, 10, 12) і дублюючага (4, 5, 6, 8, 9, 11) камплекта прыбораў.

- 1, 5 – пнеўмаэлектрычныя пераўтваральнікі;
- 2, 6 – электрапнеўматычныя пераўтваральнікі;
- 7, 8 – міліапермерметры;
- 9, 10 – рэгулятары ўваходнага ціску;
- 11, 12 – задатчыкі току;
- 13 – лампа;

14 – засцерагальнік;

15 – тумблер уключэння сеткі «200 В».

Для паверкі ПЭ-55М неабходна сабраць схему, якая прыведзена на мал. 11.4, а для паверкі ЭПП – схему, паказаную на мал. 11.5.

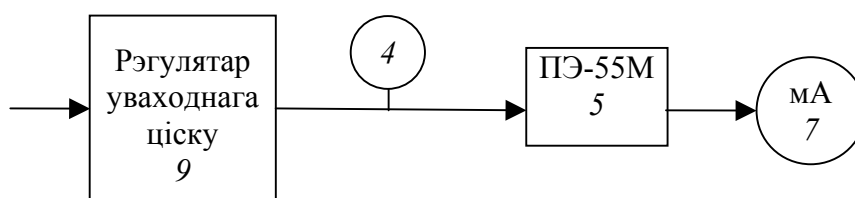


Мал. 11.3. Схема лабараторнага стэнда

11.3. Парадак выканання работы

Азнаёміцца з прынцыпам дзеяння і канструкцыяй пераўтваральнікаў, лабараторным стэндам, схемамі паверкі прыбораў.

1. Паверка ПЭ-55М.



Мал. 11.4. Схема паверкі ПЭ-55М

1.1. Разбіць дыяпазон вымярэння на 5 раўнамерна размеркаваных кантрольных пунктаў, якія павінны адпавядаць разліковым значэнням выхаднога сігнала (табл. 1).

1.2. З дапамогай рэгулятара 9 паслядоўна ўстанавіць ціскі, адпаведныя разліковым пунктам. Уваходны сігнал кантраляваць з

дапамогай манометра 4. Вымераць велічыню прамога і зваротна-га ходу.

Вынікі запісаць у табл. 1.

Табліца 1

Велічыня ўваходнага сігнала, кПа, (дзяленняў)	Разліковае значэнне выхаднага сігнала, I_d , мА	Паказанні павяраемага прыбора, I_i , мА		Абсалютная хібнасць павяраемага прыбора, мА		Прыведзеная адносная хібнасць прыбора, %	
		прамы ход	зваротны ход	прамы ход	зваротны ход	прамы ход	зваротны ход
20 (12.5)	0						
36 (22.5)	1						
52 (32.5)	2						
68 (42.5)	3						
84 (52.5)	4						
100 (62.5)	5						

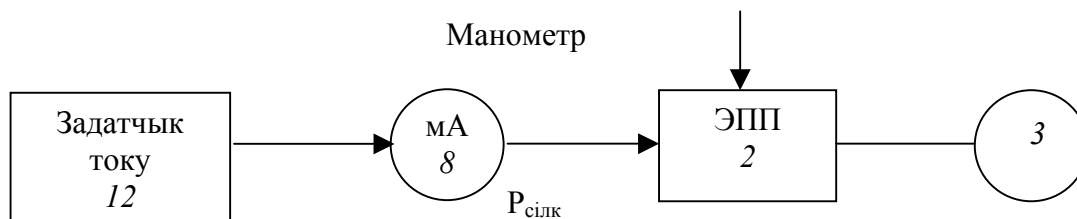
1.3. Разлічыць абсалютную і адносную прыведзеную хібнасці:

$$\delta = \frac{I_{\text{âî}} - I_{\text{ä}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} \cdot 100\%.$$

1.4. Вызначыць варыяцыю паказанняў як найбольшую рознасць паміж значэннямі паказанняў выхадных сігналаў, адпаведных аднаму і таму ж значэнню вымяраемага ціску, атрыманаму пры прамым і зваротным ходзе:

$$W = \frac{I_{\dot{e}(\text{î})} - I_{\dot{e}(\text{ä})}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}} \cdot 100\%.$$

2. Паверка АЭ ПП.



Мал. 11.5. Схема паверкі ЭПП

2.1. Разбіць дыяпазон уваходнага сігнала на 5 раўнамерна размеркаваных пунктаў, якія павінны адпавядаць 0, 20, 40, 60 і 100% ад дыяпазону.

2.2. З дапамогай задатчыка току I_2 усталяваць паслядоўна значэнні току, адпаведныя разліковым пунктам.

2.3. Велічыня выхаднага ціску вызначаецца манометрам 3. Вынікі доследаў запісаць у табл. 2.

Табліца 2

Велічыня ўваходнага сігнала, % (мА)	Разліковае значэнне выхаднага сігнала, кПа	Паказанні павяраемага прыбора, кПа		Абсалютная хібнасць павяраемага прыбора, кПа		Прыведзеная адносная хібнасць прыбора, %	
		прамы ход	зваротны ход	прамы ход	зваротны ход	прамы ход	зваротны ход
0 (0)	20						
20 (1)	36						
40 (2)	52						
60 (3)	68						
80 (4)	84						
100 (5)	100						

2.4. Разлічыць асноўную дапушчальную хібнасць і варыяцыю павяраемага прыбора.

Асноўную дапушчальную хібнасць вызначаюць як рознасць паміж разліковымі і вымеранымі значэннямі выхаднага сігнала пера-

ўтваральніка, выяўленую ў працэнтах ад яго рабочага дыяпазону 20–100 кПа (0,2–1,6 кгс/см²):

$$\delta = \frac{P_p - P_{\text{н}}}{P_{\text{max}} - P_{\text{min}}} \cdot 100\%,$$

дзе δ – дапушчальная хібнасць; P_p – разліковае значэнне выхаднога сігналу; P_c – сапраўднае значэнне выхаднога сігналу. $P_{\text{max}}-P_{\text{min}}$ – дыяпазон шкалы.

11.4. Змест справаздачы

У справаздачы павінны быць прыведзены: тэхнічныя характарыстыкі пераўтваральнікаў роду сігналаў; схемы паверкі; табліцы вынікаў паверкі; вывады.

Кантрольныя пытанні

1. Для чаго прызначаны электрапнеўматычны і пнеўматычны пераўтваральнік? На чым заснаваны прынцып іх работы?
2. Растлумачыць схему і парадак паверкі прыбораў.
3. Якія метралагічныя характарыстыкі вызначаюцца падчас выканання работы?

ЛІТАРАТУРА

1. Кулаков, М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М. В. Кулаков. – М.: Машиностроение, 1983.
2. Кондрашкова, Г. А. Технологические измерения и приборы в целлюлозно-бумажной промышленности / Г. А. Кондрашкова. – М.: Лесная промышленность, 1981.
3. Леонов, Л. В. Технологические измерения и приборы в лесной деревообрабатывающей промышленности / Л. В. Леонов. – М.: Лесная промышленность, 1984.
4. Промышленные приборы и средства автоматизации: справ. / под общ. ред. В. В. Черенкова. – Л.: Машиностроение, 1984.
5. Смирнов, А. А. Справочное пособие по ремонту приборов и регуляторов / А. А. Смирнов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

ЗМЕСТ

Уводзіны	3
Лабараторная работа № 1. Даследаванне метралагічных характарыстык патэнцыёмэтраў КСП-4, ДЫСК-250	4
Лабараторная работа № 2. Даследаванне метралагічных характарыстык нарміруючых пераўтваральнікаў	13
Лабараторная работа № 3. Даследаванне метралагічных характарыстык лагометраў і мастоў	20
Лабараторная работа № 4. Даследаванне дынамічных характарыстык тэрмапераўтваральнікаў супраціўленняў	32
Лабараторная работа № 5. Вымярэнне вільготнасці і газавага асяроддзя	39
Лабараторная работа № 6. Даследаванне метралагічных характарыстык прыбораў з дыферэнцыяльна-трансфарматарнай вымяральной схемай	47
Лабараторная работа № 7. Вымярэнне частаты вярчэння	52
Лабараторная работа № 8. Даследаванне метралагічных характарыстык пнеўматычных прыбораў	56
Лабараторная работа № 9. Вымярэнне расходу рэчыва метадам пераменнага перападу ціску	65
Лабараторная работа № 10. Даследаванне метралагічных характарыстык узроўнямераў	71
Лабараторная работа № 11. Даследаванне метралагічных характарыстык пераўваральнікаў роду сігналаў	82
Літаратура	90

Вучэбнае выданне

Бакаленка Уладзімір Іванавіч
Міхайлаў Валерый Барысавіч

МЕТРАЛОГІЯ
І ТЭХНІЧНЫЯ ВЫМЯРЭННІ ГАЛІНЫ
ЛАБАРАТОРНЫ ПРАКТЫКУМ

Рэдактар Л. Г. Кішко
Камп'ютэрная вёрстка Л. Г. Кішко

Падпісана да друку 27.12.2007. Фармат 60×84 ¹/₁₆.
Папера афсетная. Гарнітура Таймс. Друк афсетны.
Ум. друк. арк. 5,3. Ул.-выд. арк. 5,5.
Тыраж 125 экз. Заказ .

Установа адукацыі
«Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт».
220006. Мінск, Свядлова, 13а.
ЛИ № 02330/0133255 ад 30.04.2004.

Надрукавана ў лабараторыі паліграфіі ўстановы адукацыі
«Беларускі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт».
220006. Мінск, Свядлова, 13.
ЛП № 02330/0056739 ад 22.01.2004.

