

BIULETYN INFORMACYJNY
INSTYTUTU TECHNIKI CIEPLNEJ
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WARSZAWA

TEL. 21007 w. 1232 i 1248

NOWOWIEJSKA 25

Nr 15/K.T.M.C.13

grudzień 1968

dr Bogusław Ferens

Katedra Teorii Maszyn Ciepłych
Politechniki Warszawskiej

CHŁODNICZA BATERIA TERMoeLEKTRYCZNA
DO KLIMATORA JEDNOSTKOWEGO

Niezwykle szybki postęp techniczny, powstawanie różnorodnych dziedzin techniki wymagają stosowania coraz to sprawniejszych urządzeń klimatyzacyjnych, pozwalających zapewnić właściwe parametry powietrza dla procesów technologicznych, urządzeń technicznych, jak i stworzyć obsłudze tych urządzeń odpowiednie warunki bezpieczeństwa i higieny pracy. Odnosi się to szczególnie do pracy ludzi w wyjątkowo trudnych warunkach pracy takich, jak kabiny sterownicze operatorów w hutnictwie, energetyce i innych.

W związku z powyższym stawia się też i odpowiednie wymagania urządzeniom klimatyzacyjnym.

Urządzenia te winny zapewniać:

- a) całkowite bezpieczeństwo,
- b) niezawodność pracy,
- c) płynność regulacji,
- d) cichą pracę,
- e) małe wymiary gabarytowe.

Dalsze wymagania w odniesieniu do tych urządzeń to:

- f) niskie koszty wytwarzania,
- g) niskie koszty eksploatacyjne.

W odniesieniu do punktu a) urządzenia klimatyzacyjne konwencjonalne nie mogą być wyposażone w zespoły chłodnicze napełniane czynnikiem chłodniczym szkodliwym dla otoczenia. W związku z tym nie stosuje się już chłodniczych sprężarek amoniakalnych w urządzeniach klimatyzacyjnych.

Obecnie prawie powszechnie stosowane są chłodnicze sprężarki freonowe.

Postulowanym warunkom określonym w punktach a), b), c), d), e) odpowiadają w szczególności urządzenia klimatyzacyjne, wyposażone w chłodnicze zespoły termoelektryczne, jako źródła wytwarzania zimna lub ciepła. Chłodnicze zespoły termoelektryczne zastosowane w klimatorach jednostkowych pod względem pewności działania i bezpieczeństwa znacznie przewyższają urządzenia chłodnicze sprężarkowe. Wynika to przede wszystkim z faktu wyeliminowania czynnika chłodniczego i części ruchomych. Regulację wydajności cieplnej klimatorów wyposażonych w chłodnicze zespoły sprężarkowe uzyskuje się przez wyłączenie i włączanie silnika elektrycznego napędzającego sprężarkę. Jest to regulacja skokowa, która wywołuje znaczne wahania temperatury w pomieszczeniu klimatyzowanym. Natomiast chłodnicze urządzenia termoelektryczne mają charakterystyki zbliżone do wykresu obciążeń cieplnych pomieszczenia klimatyzowanego. Wynika stąd duża łatwość i płynność regulacji, która pozwala na utrzymanie wąskich tolerancji wahań temperatury w pomieszczeniu w granicach $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$. W klimatorach termoelektrycznych wyeliminowano główne źródło hałasu, sprężarki urządzenia chłodniczego. Dalsze obniżanie głośności, to wyposażenie klimatora termoelektrycznego w cichobieżne wentylatory o specjalnej konstrukcji wirnika. Klimatory termoelektryczne zapewniają pracę urządzenia przy poziomie głośności poniżej 50 decybeli. Również porównanie klimatorów termoelektrycznych ze sprężarkowymi pod względem zajmowanej przestrzeni wypada na korzyść termoelektrycznych, które zajmują około 50% mniej miejsca. Koszty eksploatacyjne obu typów klimatorów są mniej więcej równe. Biorąc pod uwagę prace części ruchomych w urządzeniach klima-

tyzacyjnych termoelektrycznych (poza wentylatorem) w zasadzie nie przewiduje się konieczności przeprowadzenia okresowych remontów urządzenia - co również zmniejsza koszty eksploatacyjne.

Wykonane analizy kosztów wytwarzania urządzeń termoelektrycznych podają znacznie silniejszą obniżkę kosztów, przy masowej produkcji tych urządzeń, niż urządzeń konwencjonalnych sprężarkowych, do tego stopnia, że koszty obu typów tych urządzeń niewiele się różnią między sobą.

Rozumiejąc konieczność postępu i wprowadzania nowoczesnych rozwiązań w urządzeniach klimatyzacyjnych zaprojektowano w Pracowni Termoelektrycznej Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej, prototyp zespołu chłodniczej baterii termoelektrycznej do zastosowania w klimatorach jednostkowych.

Założenia do chłodniczej baterii termoelektrycznej były następujące:

maksymalna wydajność chłodnicza $Q = 1600 \text{ W}$,
średnia temperatura ścianek wymienników ciepła
po stronie zimnych spoin baterii $t_0 = + 10,5^{\circ}\text{C}$,
temperatura wody chłodzącej gorące
spoiny baterii $t_w = + 20^{\circ}\text{C}$.

Bateria termoelektryczna klimatora składa się z dwóch zespołów chłodniczych, w których podstawową jednostką chłodniczą jest moduł termoelektryczny.

Moduł termoelektryczny zbudowany jest z 12 termoelementów półprzewodnikowych o następujących parametrach fizycznych:

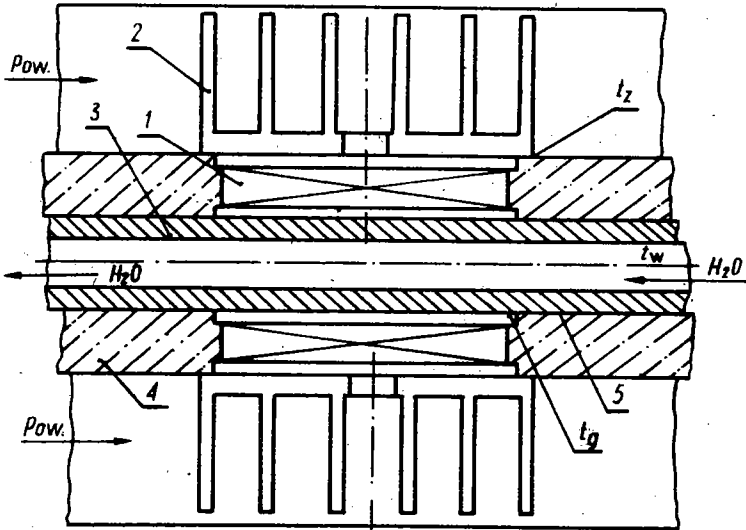
współczynnik siły termoelektrycznej dla elementów
typu p i n $\alpha_{sr} = \pm 175 \mu \text{ V} \cdot \text{deg}^{-1}$,
różnicowy współczynnik siły
termoelektrycznej $\Delta \alpha = 350 \mu \text{ V} \cdot \text{deg}^{-1}$,
przewodność właściwa $\sigma_{sr} = 750 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$,
współczynnik przewodności
ciepłej $\lambda_{sr} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1}$,
parametry geometryczne elementów:
wysokość $l = 0,7 \text{ cm}$,
powierzchnia przekroju po-
przecznego $s = 1.0 \times 1.0 \text{ cm}^2$,
parametr kształtu $b = \frac{s}{l} = 1,5 \text{ cm}$.

W celu uzyskania założonej wydajności chłodniczej przy podanych wartościach temperatur, z uwzględnieniem niezbędnych spadków temperatur dla zapewnienia właściwej wymiany ciepła pomiędzy spoinami i wymiennikami ciepła, przyjęto następujące temperatury spoin termoelementów w modułach chłodniczych:

temperatura zimnych spoin $t_z = + 7^{\circ}\text{C}$; $T_z = 280^{\circ}\text{K}$,
temperatura gorących spoin $t_g = + 23^{\circ}\text{C}$; $T_g = 296^{\circ}\text{K}$,
różnica temperatur pomiędzy

spoinami $\Delta T = T_g - T_z$; $\Delta T = 16 \text{ deg.}$

Układ chłodniczy przy założonych temperaturach podano na rys.1.



- 1. moduł chłodniczy
- 2. wymiennik ciepła
- 3. płyta aluminiowa.
- 4. izolacja
- 5. warstwa elektroizol.

Rys.1. Układ chłodniczy baterii

Obliczenie optymalnej wartości natężenia prądu dla termoelementu chłodniczego a tym samym i dla całej baterii

$$I_{\text{opt}} = b \sqrt{2 \cdot \lambda \cdot \Delta T \cdot 6} = 1,5 \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 750},$$

$$I_{\text{opt}} = 25,5 \text{ A}.$$

Wydajność chłodnicza termoelementu

$$q_o = \Delta\alpha \cdot I \cdot T_z - I^2 / 6 \cdot b - 2 \cdot \lambda \cdot b \cdot \Delta T ,$$

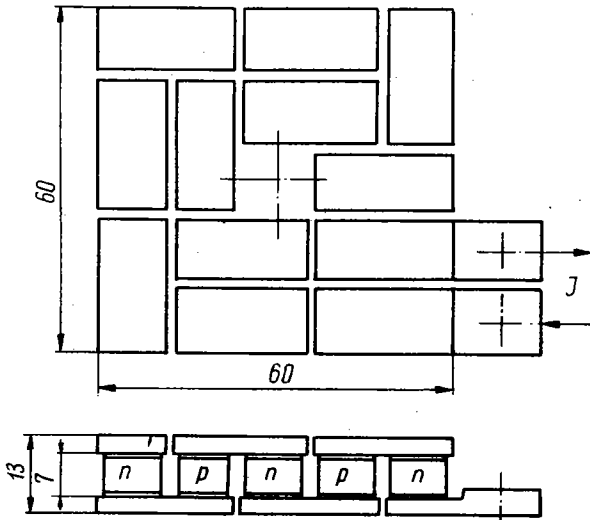
$$q_o = 350 \cdot 10^{-6} \cdot 25,5 - 25,5^2 / 750 \cdot 1,5 - 2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 16 ,$$

$$q_o = 1,44 \text{ W.}$$

Wydajność chłodnicza jednego modułu składającego się z $n = 12$ termoelementów chłodniczych

$$q_{om} = q_o \cdot n, \quad q_{om} = 1,44 \cdot 12, \quad q_{om} = 17,3 \text{ W.}$$

Kształt i wymiary gabarytowe modułu podano na rys.2.



Rys.2. Moduł chłodniczy

Ilość wszystkich modułów N , niezbędnych do uzyskania wymaganej wydajności chłodniczej $Q_o = 1600 \text{ W}$

$$N = \frac{Q_o}{q_{om}}, \quad N = \frac{1600}{17,3}, \quad N = 92 \text{ szt.}$$

Uwzględniając wytyczne konstrukcyjne i gabarytowe wymiary stosowanych klimatorów przyjęto ilość modułów $N = 72$ szt.

W związku z tym należało zwiększyć wartość natężenia prądu zasilającego $I_{opt} = 25,5$ do wartości $I = 35 \text{ A}$.

Obliczenie mocy potrzebnej do zasilania baterii termoelektrycznej:

$$W = (2 \cdot I^2 / 6 \cdot b + \Delta \alpha \cdot \Delta T \cdot I) \cdot n \cdot N ,$$

$$W = (2 \cdot 35^2 / 750 \cdot 1,5 + 350 \cdot 10^{-6} \cdot 16 \cdot 35) \cdot 12 \cdot 72 ,$$

$$W = 1700 \text{ W} .$$

Współczynnik wydajności chłodniczej baterii:

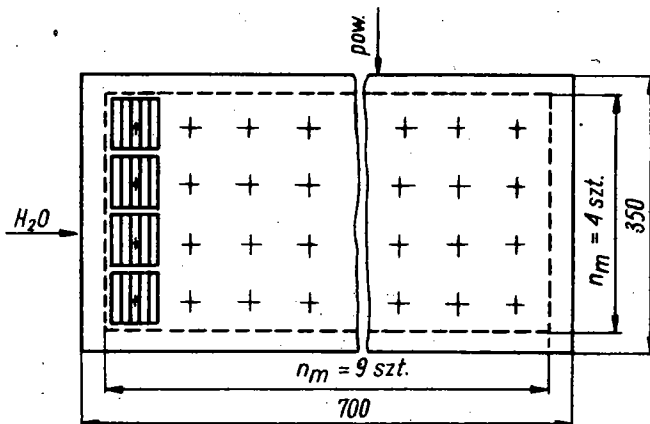
$$\epsilon = \frac{Q_0}{W} , \quad \epsilon = \frac{1600}{1700} , \quad \epsilon = 0,94 .$$

Wielkość spadku napięcia prądu zasilającego chłodniczą baterię termoelektryczną wynosi:

$$U = \frac{W}{I} , \quad U = \frac{1700}{35} , \quad U = 49 \text{ V} .$$

Obliczony spadek napięcia jest wartością teoretyczną nie uwzględniającą spadków napięć na oporach kontaktowych, jak i na przewodach łączących moduły oraz na przewodach doprowadzających prąd do baterii.

Bateria termoelektryczna klimatora zbudowana jest z dwóch zespołów modułów chłodniczych rozmieszczonych na dwóch płytach aluminiowych po 36 modułów na każdej płycie rys.3.



Rys.3. Rozmieszczenie modułów na płycie aluminiowej

Powierzchnie płyt aluminiowych posiadają utlenione powierzchnie stanowiące tym samym warstwy elektroizolacyjne, a zarazem zapewniające dobre warunki wymiany ciepła pomiędzy płytami a modułem. Pomędzy tymi płytami przepływa woda chłodząca odbierająca ciepło od gorących spoin modułów chłodniczych. Do każdego modułu od strony zimnych spoin umocowano indywidualne wymienniki ciepła, wykonane z aluminium z utlenioną powierzchnią wymiennika, stykającego się z modułem. Wymiana ciepła pomiędzy zimnymi wymiennikami a powietrzem zasysanym z pomieszczenia klimatyzowanego odbywa się w obiegu z wymuszoną wymianą ciepła za pomocą wentylatora o specjalnym kształcie wirnika, dostosowanego do przekroju poprzecznego zimnych wymienników. Bateria chłodnicza jest zasilana prądem stałym z zasilacza wbudowanego w klimator.

Nr 15/K.T.M.C. 13

Dr Bogusław Ferens

Katedra Teorii Maszyn Ciepłych
Politechniki Warszawskiej

HIGROMETRY TERMOELEKTRYCZNE PUNKTU ROSY

1. Wstęp

Zawartość pary wodnej w atmosferze ziemskiej zmienia się w bardzo szerokim zakresie i jest funkcją dwóch zmiennych parametrów powietrza-ciśnienia i temperatury.

Wilgotność powietrza może być określona przez podanie wartości wilgotności bezwzględnej lub temperatury punktu rosy.

Do określania wilgotności powietrza opracowano szereg przyrządów tzw. higrometrów, działających na zasadzie psychrometru, higrometru włosowego, higrometru punktu rosy i innych.

Na podstawie dotychczasowych badań i doświadczeń można stwierdzić, że higrometry punktu rosy są przyrządami pracującymi poprawnie w wystarczającym dla meteorologii zakresie zmian wilgotności i temperatury (również przy niskich temperaturach ujemnych).

Przyrządy te umożliwiają określenie wilgotności powietrza poprzez pomiar temperatury punktu rosy, czyli temperatury, do której należy oziębic powietrze tak, aby ciśnienie pary wodnej w nim zawartej stało się równe ciśnieniu pary wodnej nasyconej względem wody. Dla temperatur ujemnych wprowadzono pojęcie punktu szronu jako temperatury, przy której ciśnienie pary wodnej staje się równe ciśnieniu pary wodnej nasyconej względem lodu.

Jak wiadomo, zasada pracy higrometrów punktu rosy polega na tym, że badane powietrze przepływa obok powierzchni, która jest oziębiana aż do temperatury, w której następuje na tej powierzchni kondensacja pary wodnej w postaci rosy lub szronu. Temperatura powierzchni w momencie pojawiania się osadu jest temperaturą punktu rosy.

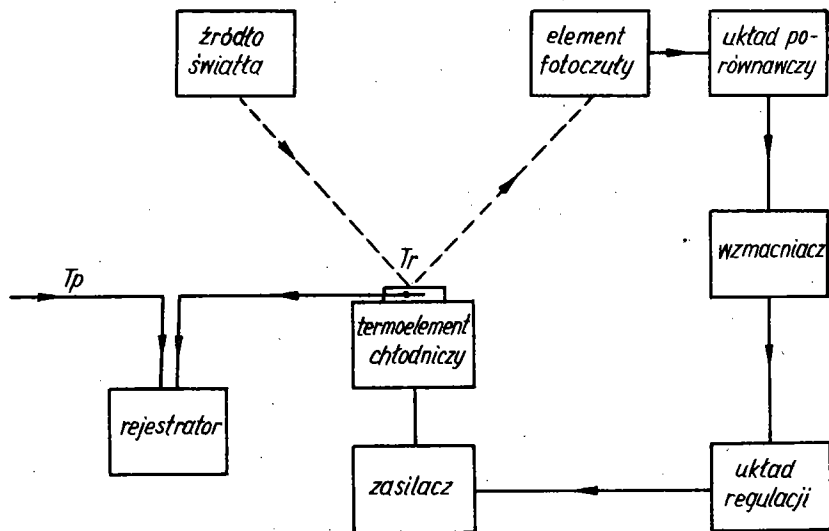
W większości przypadków do wykrywania tego osadu stosowane są metody optyczne, polegające na tym, że wiązka światła jest kierowana na powierzchnię zwierciadlaną (będącą jednocześnie powierzchnią ochładzaną) tak, aby po odbiciu trafiała na element fotoczuły. Pojawienie się rosy (szronu) powoduje osłabienie natężenia wiązki światła odbitego, wykrywane przez fotoelement. Sygnał z fotoelementu steruje układem chłodzenia. Blokowy schemat higrometru punktu rosy podano na rys.1.

Dla określenia wilgotności względnej powietrza, oprócz znajomości temperatury punktu rosy, konieczna jest także znajomość aktualnej temperatury powietrza.

Na podstawie wyżej podanej zasady pracy omawianych przyrządów można stwierdzić, że na prawidłowość ich pracy, a więc i na dokładność otrzymanych wyników wpływa:

- dokładność pomiaru temperatury punktu rosy (a także dokładność pomiaru temperatury powietrza, gdy wymagane jest również określenie wilgotności względnej),
- metoda i systemy regulacji ochładzania zwierciadła,
- metoda wykrywania osadu rosy (szronu) na zwierciadle.

Powiązanie ze sobą dokładności pomiaru temperatur: punktu rosy i powietrza oraz dokładności określenia wilgotności bez-



Rys.1. Schemat blokowy higrometru punktu rosy

względnej i względnej w przewidywanym zakresie zmian temperatury i wilgotności umożliwia określenie wymagań co do dokładności pomiaru temperatury. I odwrotnie, mając do dyspozycji daną aparaturę o ustalonej dokładności pomiaru temperatury można oszacować dokładność określenia wilgotności powietrza będą miały dokładności pomiarów temperatury powietrza i temperatury punktu rosy (szronu).

W celu przeprowadzenia analizy wpływu dokładności pomiaru temperatur na dokładność określania wilgotności, można przyjąć że są mierzone dwie temperatury: powietrza - T_p , z dokładnością dT_p i punktu rosy - T_r , z dokładnością dT_r . Temperaturze T_p odpowiada ciśnienie pary wodnej p , a temperaturze T_r odpowiada ciśnienie pary wodnej nasyconej p_0 , które jednocześnie określa prężność pary wodnej zawartej w powietrzu, czyli wilgotność bezwzględną.

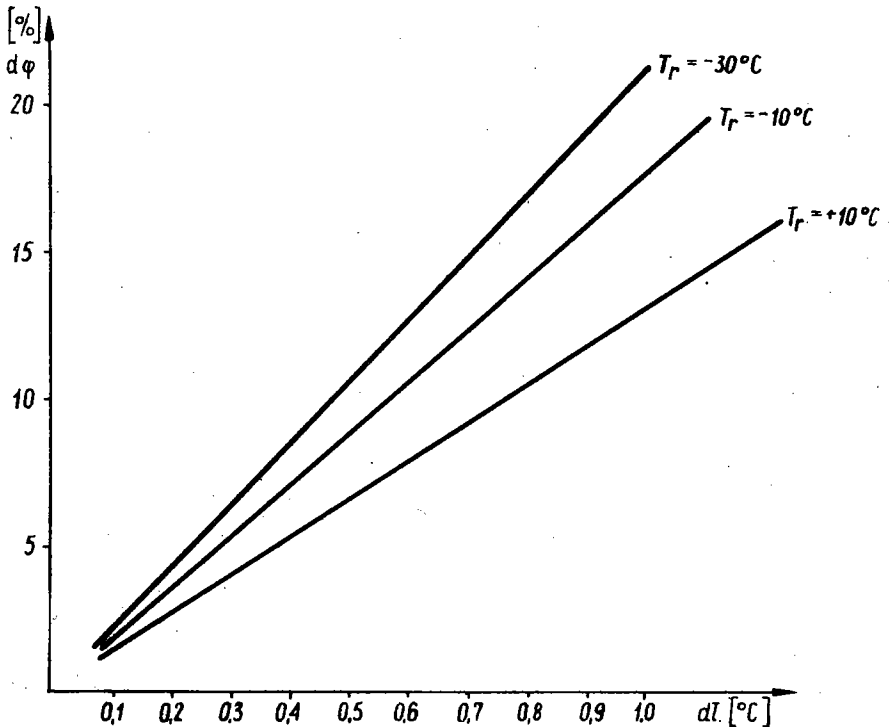
Wilgotność względna jest określona według

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% .$$

Dokładność $d\varphi$ określenia wilgotności φ podaje wyrażenie

$$d\varphi = \frac{1}{p_0} \cdot \left(dp - \frac{p}{p_0} dp_0 \right).$$

Wielkości dp i dp_0 zależą bezpośrednio od dokładności pomiaru temperatury dT_p i dT_r , a także od wartości temperatury mierzonej. Zależność tę przedstawiono na wykresie rys. 2.



Rys.2. Zależność maksymalnego błędu określenia wilgotności od dokładności pomiaru temperatury

Wykres ten pozwala ocenić dokładność określania wilgotności bezwzględnej przy różnych dokładnościach pomiaru temperatury punktu rosy i różnych wartościach temperatury punktu rosy.

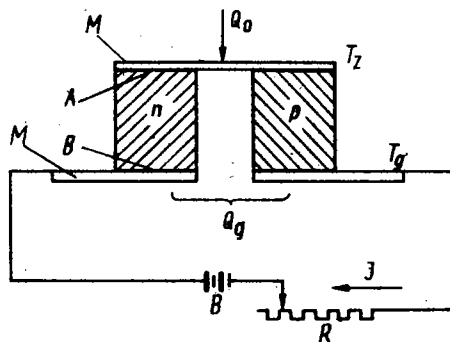
Zakłada się, że $dT_p = dT_r$, a także że występuje najmniej korzystny przypadek, gdy błędy pomiaru obu temperatur mają przeciwne znaki. Wtedy wzór (2) przyjmuje postać

$$d\varphi = \frac{1}{p_0} \left(dp + \frac{p}{p_0} dp_0 \right).$$

Dla uproszczenia założono, że w temperaturach poniżej zera występuje zawsze osad szronu (nie uwzględniono przypadku występowania wody przechłodzonej).

Bardzo istotnym a zarazem trudnym problemem przy opracowywaniu higrometrów punktu rosy było zagadnienie zbudowania układu ochładzania zwierciadła, pozwalającego na otrzymanie osadu o odpowiedniej grubości. Zastosowanie termoelektrycznego systemu chłodzenia w miejsce stosowanych dawniej układów mechanicznych i chemicznych, pozwoliło na znaczne uproszczenie konstrukcji higrometru oraz zwiększyło dokładność pomiarów wilgotności poprzez bardziej precyzyjne wykrywanie temperatury punktu rosy i rozszerzyło zakres pomiarowy w stronę niskich temperatur ujemnych.

W termoelemencie chłodniczym jest wykorzystany efekt Peltiera polegający na pochłanianiu i wydzielaniu ciepła w spoinach obwodu termoelektrycznego, który jest zasilany ze źródła prądu stałego. Schemat takiego obwodu jest przedstawiony na rys. 3. Obwód tworzą dwie gałęzie: jedna z



Rys.3. Schemat układu termoelementu chłodniczego

nich to element o przewodnictwie dodatnim p i druga - element o przewodnictwie ujemnym n . Gałęzie termoelementu połączone są mostkami metalowymi M , z materiału o dużej przewodności elektrycznej i cieplnej, co jest niezbędne dla zapewnienia jak najlepszego efektu cieplnego. Obwód termoelementu jest zasilany napięciem stałym, regulowany opór R umożliwia zmianę natężenia prądu. Skutkiem przepływu prądu w odpowiednim kierunku następuje pochłanianie ciepła Q_0 w spoinie A , która osiąga temperaturę T_z i wydzielanie ciepła Q_g w spoinie B , która osiąga temperaturę T_g , przy czym $T_g > T_z$.

Między spoiną zimną A i gorącą B wytwarza się różnica temperatur $\Delta T = T_g - T_z$.

Jeżeli w obwodzie termoelementu zmieniać kierunek przepływu prądu na przeciwny, układ temperaturowy spoiny zmienia się na odwrotny, tzn. spoina B będzie pochłaniała ciepło a spoina A będzie wydzielala ciepło do otoczenia.

Ilość ciepła, którą w określonych warunkach pracy spoina zimna może pochłonać od otoczenia zależy od właściwości fizycznych materiałów tworzących termoelement, natężenia prądu i różnicy temperatur między spoinami i jest określona wyrażeniem:

$$Q_0 = \Delta\alpha \cdot I \cdot T_z - 0,5 \cdot I^2 \cdot R - k (T_g - T_z) \dots [W],$$

gdzie odpowiednie oznaczenia:

$$\Delta\alpha = \alpha_p - \alpha_n \quad [\mu V \cdot \text{deg}^{-1}],$$

α_p, α_n - współczynniki siły termoelektrycznej elementów p i n,
l, S - długość i przekrój czynny gałęzi termoelementu [m]
[m²],

ρ - oporność właściwa elementów, przyjęto

$$\rho = \rho_n = \rho_p \quad [\Omega \cdot m],$$

$R = \frac{2l}{S} \rho$, opór elektryczny termoelementu [Ω],

λ - współczynnik przewodnictwa cieplnego elementów,

$$\text{przyjęto } \lambda = \lambda_n = \lambda_p \quad [W \cdot m^{-4} \text{ deg}^{-1}],$$

$k = \frac{2S}{l} \lambda$ - przewodnictwo cieplne termoelementu [$W \text{ deg}^{-1}$],

I - natężenie płynącego prądu [A],

T_g, T_z - temperatury spoiny gorącej i zimnej [$^{\circ}K$].

Ilość ciepła Q_g odprowadzona z gorącej spoiny jest równa sumie ciepła Q_0 i mocy doprowadzonej W

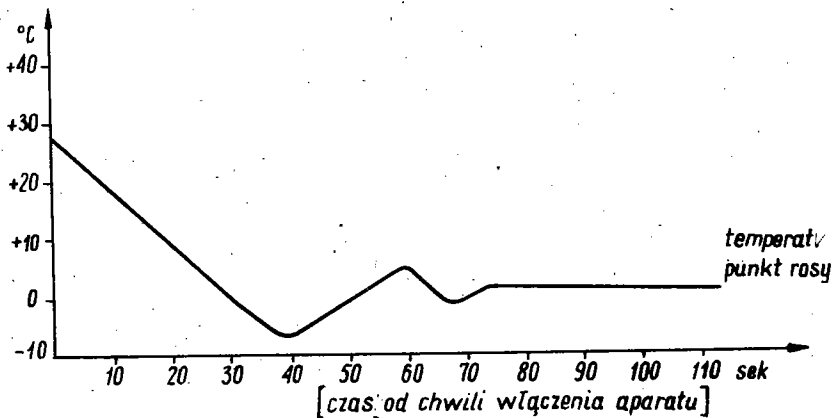
$$Q_g = Q_0 + W.$$

Zmiana ilości ciepła pochłanianego od otoczenia Q_0 oraz temperatury spoiny zimnej T_z może być wykonana przez zmianę wartości natężenia prądu płynącego w obwodzie.

2. Wykrywanie i system regulacji grubości osadu na zwierciadle

Dla zapewnienia prawidłowej pracy higrometru temperatura zwierciadła powinna być utrzymywana tak, aby grubość osadu na zwierciadle pozostawała stała. Można mieć wtedy pewność, że mierzona temperatura zwierciadła jest temperaturą punktu rosy. W praktycznych rozwiązaniach warunek ten jest bardzo trudny do zrealizowania, gdyż stawia duże wymagania zarówno układowi automatycznej regulacji, jak i ochładzania zwierciadła.

Ustalanie się temperatury punktu rosy na zwierciadle termoelementu chłodniczego higrometru przedstawiono na rys. 4.



Rys.4. Charakterystyka czasowa termoelementu chłodniczego

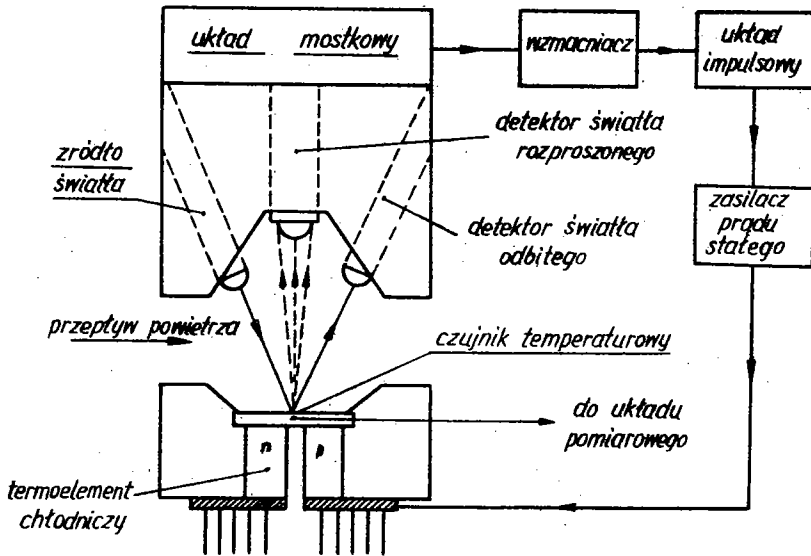
Według przeprowadzonych badań (1) dla prawidłowej pracy przyrządu grubość osadu może się zmieniać w granicach 5-40%, przyjmując skalę liniową, na której 0% odpowiada czystemu zwierciadłu, bez osadu i 100% odpowiada takiej grubości osadu, że jego dalszy wzrost nie powoduje dalszych zmian wykrywanych przez fotodetektor. Przy podanym zakresie dopuszczalnych zmian grubości osadu na zwierciadle, 40% odpowiada najwyższemu punktowi rosy, 5% odpowiada najniższemu punktowi rosy.

Utrzymywanie osadu w podanych wyżej granicach jest możliwe dzięki zastosowaniu precyzyjnego systemu chłodzenia. Mierzona temperatura powierzchni zwierciadła jest rzeczywistą temperaturą punktu rosy.

Mimo stosowania różnych metod uśredniania temperatury punktu rosy określanej na podstawie oscylującego osadu (osad pojawia się i znika na zwierciadle, temperatura zwierciadła oscyluje wokół punktu rosy) największa dokładność jest otrzymywana, gdy zachowany jest warunek równowagi, czyli stała grubość osadu na zwierciadle.

3. Rozwiązania higrometrów punktu rosy

Jedno z rozwiązań higrometru punktu rosy opracowanego przez Charles C. Francisco i David J. Beaubien (1) podano na rys.5. Jest to higrometr automatyczny, ogólna zasada jego



Rys.5. Schemat automatycznego higrometru punktu rosy

działania omówiona została już poprzednio. Charakterystyczną cechą tego rozwiązania jest zastosowanie metody wykrywania osadu na powierzchni zwierciadła. Rozwiązane to jest przy pomocy systemu optycznego, składającego się ze źródła światła, zwierciadła i dwóch fotooporników. Na jeden z nich pada światło odbite bezpośrednio od zwierciadła, na drugi zaś światło rozproszone, pojawiające się dopiero w momencie wystąpienia osadu na zwierciadle. Oba fotooporniki są włączone w układ

mostkowy, dzięki czemu uzyskuje się kompensację wpływu zmian temperatury otoczenia na charakterystyki fotooporników, ponadto układ jest nieczuły na wahania natężenia strumienia światła padającego na zwierciadło.

Sygnał niezrównoważenia mostka prądu zmiennego pojawiający się w momencie wystąpienia osadu na zwierciadle zostaje wzmocniony, a następnie zamieniony na impulsy sterujące kątem przepływu prostowników krzemowych, regulujących prąd termoelementu chłodniczego.

W omawianym urządzeniu zastosowano do pomiaru temperatury powierzchni zwierciadła oporowy termometr platynowy. Dla szybszego odparowania osadu nawinięto wokół zwierciadła oporowy element grzejny.

Powietrze, którego wilgotność jest określana, przepływa wzdłuż zwierciadła. Drugi strumień powietrza jest kierowany na wymienniki spoin gorących celem odprowadzenia od nich wydzielonego ciepła.

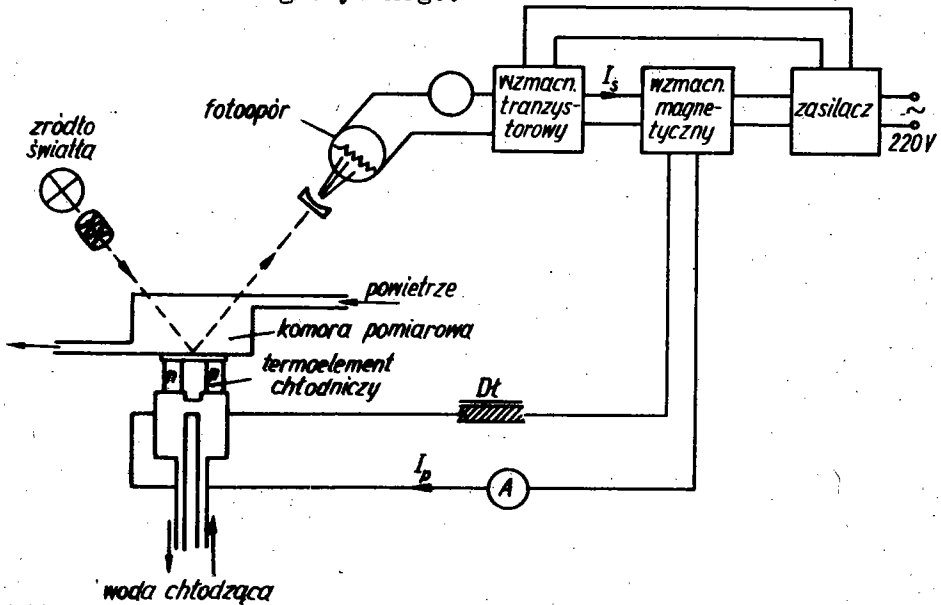
Zasada działania higrometru polega na tym, że układ regulacji mostka powoduje włączenie prądu zasilającego element chłodniczy i ochładzanie zwierciadła w momencie braku na nim osadu. Elementy mostka są tak dobrane, że pojawienie się osadu "steruje" mostek w stronę stanu równowagi zmniejszając proporcjonalnie prąd zasilający termoelement aż do osiągnięcia pewnej stałej wartości prądu, przy której na powierzchni zwierciadła utrzymywana jest warstwa osadu o odpowiedniej grubości.

Przyrząd reaguje na zmiany temperatury punktu rosy odpowiednio zmniejszając lub zwiększając prąd zasilający termoelement chłodniczy. Omawiany przyrząd został opracowany dla pomiarów punktu rosy w zakresie temperatur powietrza od -70 do $+50^{\circ}\text{C}$.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że dla punktu rosy powyżej -30°C dokładność pomiaru wynosi $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$. Dla najniższych temperatur punktu rosy dokładność pomiaru zmniejsza się do ok. $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Inny typ higrometru termoelektrycznego punktu rosy został opracowany przez J.Plichta (2). Schemat tego przyrządu jest przedstawiony na rys.6. Zasada jego pracy polega, podobnie

jak w poprzednim przypadku, na wykorzystaniu zmian natężenia oświetlenia fotooporu spowodowanych osadzaniem się rosy na zwierciadle do regulacji prądu zasilającego termoelement chłodzący, w ten sposób, aby osad rosy na zwierciadle utrzymywał stałą grubość. Zastosowano tu jednak odmienny system wzmacniania sygnału z fotoelementu i inny układ sterowania prądu zasilającego termoelement chłodzący, wykorzystując układ wzmacniacza magnetycznego.

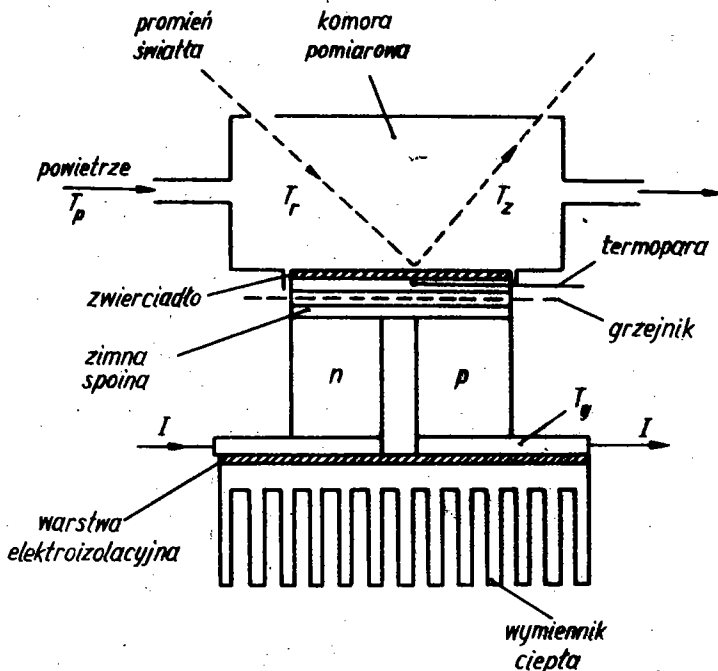


Rys.6. Schemat higrometru punktu rosy ze wzmacniaczem magnetycznym

W higrometrach termoelektrycznych punktu rosy dąży się do rozwiązań konstrukcyjnych, pozwalających na możliwie szybkie ustalanie się temperatury punktu rosy, co związane jest równocześnie z koniecznością zmniejszenia tej oscylacji. W tym celu pomiędzy zwierciadło a zimną spoinę termoelementu umieszcza się grzejnik elektryczny w postaci cienkiej folii. Tak umieszczony grzejnik umożliwia lepszą kontrolę temperatury zwierciadła i mniejsze jej oscylacje (rys.7).

Dla uzyskania niskich temperatur ujemnych zwierciadła trzeba stosować wielostopniowe układy termoelementów chłodniczych przy równoczesnym zapewnieniu właściwych warunków wymiany ciepła układu chłodniczego.

Nad zagadnieniem zastosowania termoelektrycznego systemu chłodzenia do higrometrów punktu rosy prowadzone są prace w



Rys.7. Termoelement chłodniczy z grzejnikiem zwierciadła

P.I.H.M. w Warszawie przy współudziale Pracowni Termoelektrycznej I.T.C. Politechniki Warszawskiej w oparciu o termoelementy wykonane przez Pracownię Termoelektryczną. Przewiduje się zastosowanie termoelementów chłodniczych w układzie jedno i dwustopniowym. Natężenie prądu zasilającego 12 A. Współczynnik sprawności technologicznej termoelementów $z = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ deg}^{-1}$

Bibliografia

1. Humidity and Moisture Measurements and Control in Science and Industry. Vol.1 New York 1965.
2. Plichta J.: "Messergebnisse eines Tauspiegelhygrometers mit Peltierkühlung" Luft u. Kältetechnik nr 4 1967.
3. Kolenko E.A.: Termoelektricheskie ochładzajuszczije pri-bory A.N. ZSSR 1967.