

Mgr inż. Marek Bednarkiewicz
Instytut Techniki Ciepłej

**OBLICZANIE NATĘŻENIA PRZEPŁYWU PŁYNÓW I BILANSÓW
CIEPLNYCH KOTŁÓW PAROWYCH PRZY UŻYCIU CYFROWEJ MASZYNY
MATEMATYCZNEJ**

1. Wstęp

Pomiar natężenia przepływu za pomocą kryzy ISA jest pomiarem chwilowym. Oznacza to, że mierząc ciśnienie różnicowe i parametry płynu, można obliczyć wartość natężenia przepływu dla tej chwili czasu, dla której pomiar był wykonany. A więc, aby obliczyć średnią dla określonego przedziału czasowego, należy dokonywać pomiaru ciśnienia różnicowego i parametrów płynu w okresie pomiarowym wielokrotnie, a następnie obliczać wartości natężenia przepływu dla każdego pomiaru. Dopiero wówczas można obliczyć poszukiwaną wartość średniego natężenia przepływu, jako średnią z chwilowych wartości.

Chwilową wartość natężenia przepływu oblicza się ze wzoru:

$$M = 1,1107 \alpha \varepsilon d_t^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_1}} \quad (\text{kg/s}). \quad (1)$$

Dla dużych liczb Reynoldsa oraz stałej wartości stosunku ciśnienia różnicowego Δp do bezwzględnego ciśnienia płynu współczynniki α i ε są stałe i zależność ta przyjmuje uproszczoną postać

$$\dot{M} = B \sqrt{\frac{\Delta p}{v}}, \quad (2)$$

gdzie: B - wielkość stała,
 d_t - średnica otworu kryzy,
v - objętość właściwa.

A zatem możemy obliczyć średnią wartość natężenia przepływu na podstawie średniej wartości $\sqrt{\frac{\Delta p}{v}}$.

W przeważającej większości przypadków współczynniki α i ϵ nie są stałe i stosując tego rodzaju obliczenia popełnia się błąd tym większy, im większe były zmiany wartości parametrów płynu i ciśnienia różnicowego w okresie pomiarowym. W praktyce na ogół godzimy się z tym błędem.

Jeżeli natomiast chcemy ten błąd z pomiaru wyeliminować, musimy pogodzić się z wieloma pracochłonnymi obliczeniami. Niżej jest opisem programu dla maszyny cyfrowej, który oblicza średnią wartość natężenia przepływu przez obliczenie średniej z chwilowych wartości natężenia przepływu. Dzięki obliczeniom wykonanym przy pomocy maszyny cyfrowej otrzymuje się wyniki obarczone najmniejszym błędem, skracając przy tym do minimum czas pracy ludzkiej.

Należy również podkreślić, że zastosowanie maszyny cyfrowej do obliczeń pociąga za sobą konieczność bardzo starannego przeprowadzenia pomiarów (np. stała częstość odczytów wskazań przyrządów pomiarowych). Zwiększenie dyscypliny pomiarowej jest więc dodatkową zaletą proponowanej metody obliczeń. W artykule przedstawiono również zastosowanie tego programu do obliczeń bilansu cieplnego kotła parowego. Oba te programy napisano w języku algorytmicznym ALGOL z przeznaczeniem do obliczeń na maszynie cyfrowej ODRA-1204.

2. Opis programu dla obliczania natężenia przepływu płynów na podstawie pomiaru ciśnienia różnicowego kryzą ISA

Program opracowano przy następujących założeniach:

- a) przyrząd pomiarowy - kryza ISA z pomiarem przytarczowym wg PN-65/M-53950,
- b) moduł kryzy - $m \leq 0,62$,
- c) materiał kryzy - stal nierdzewna lub stal węglowa,
- d) średnica rurociągu - $D \geq 50$ mm,
- e) materiał rurociągu - stal węglowa,
- f) pomiaru ciśnienia różnicowego dokonuje się cieczowym manometrem różnicowym, przy czym jako cieczy manometryczne

stosuje się: wodę, czterochlorek węgla, rtęć oraz rtęć z wodą jako płynem pośrednim,

g) płyny, których natężenie przepływu program może obliczać: powietrze suche, powietrze wilgotne, para wodna, woda i mieszaniny gazów złożone z następujących składników: azot, tlen, dwutlenek węgla, tlenek węgla, wodór, ciężkie węglowodany, metan,

h) graniczne parametry czynników: powietrze suche - $(0 \div 200) ^\circ\text{C}$, $(1 \div 30)$ bar; wilgotność względna - $(20 \div 100)\%$, para wodna - od linii nasycenia do 600°C i 100 bar; woda - do 200°C ; mieszaniny gazów - $(0 \div 100) ^\circ\text{C}$, $(1 \div 30)$ bar;

i) wartość liczby Reynoldsa znajduje się w zakresie dopuszczalnym $Re < Re < Re_{\text{max}}$.

Podstawowym materiałem źródłowym przy opracowaniu programu była norma PN-65/M-53950 pt. "Pomiar natężenia przepływu płynów za pomocą zwęzek" ustanowiona przez PKN w roku 1965 jako norma obowiązująca w zakresie metod pomiarowych. Program opracowano w ten sposób, aby spełnione były wszystkie wymagania stawiane przez powyższą normę, w założeniu że pomiary przeprowadzone zostały zgodnie z zaleceniami normy.

Program, zgodnie z założeniami wstępnymi, oblicza chwilowe wartości natężenia przepływu dla każdej zmierzonej wartości ciśnienia różnicowego. Ponieważ wartości ciśnienia i temperatury płynu zmieniają się w czasie przeważnie wolniej niż ciśnienie różnicowe, pozostawiono dowolność w wyborze częstości pomiarów ciśnienia i temperatury płynu, zastrzegając jedynie następujące ograniczenie:

a) częstości wszystkich pomiarów są stałe w całym okresie pomiarowym,

b) liczba pomiarów ciśnienia płynu jest równa liczbie pomiarów temperatury płynu,

c) liczba pomiarów ciśnienia (lub temperatury) płynu jest wielokrotnością liczby pomiarów ciśnienia różnicowego,

d) pierwszy odczyt ciśnienia różnicowego, pierwszy odczyt temperatury i pierwszy odczyt ciśnienia płynu jest wykonany w tym samym czasie.

A zatem stosunek liczby pomiarów ciśnienia różnicowego (C) do liczby pomiarów parametrów płynu (A) jest liczbą całkowitą (b) z przedziału od 1 do C.

W zależności od wartości b obliczenia przeprowadzone są następująco:

a) $b = 1$ - liczba pomiarów ciśnienia różnicowego jest równa liczbie pomiarów parametrów, co oznacza, że obliczając natężenie przepływu dla każdej wartości ciśnienia różnicowego program wczytuje z danych odpowiadające tym wartościom w czasie parametry czynnika,

b) $b = C$ - dla C pomiarów ciśnienia różnicowego istnieje tylko jeden pomiar parametrów płynu. Dla tego przypadku program oblicza C wartości chwilowych natężenia przepływu, przyjmując do kolejnych obliczeń te same parametry płynu,

c) $1 < b < C$ - program przyporządkowuje wartości parametrów płynu zmierzonym w tym samym momencie wartościom ciśnienia różnicowego, a następnie określa przez interpolację liniową przypuszczalne wartości parametrów dla pozostałych wartości ciśnienia różnicowego.

Program oblicza wartości chwilowego natężenia przepływu według następującego schematu:

1. Obliczenie ciśnienia i temperatury płynu odpowiadających w czasie wczytanej aktualnie do obliczeń wartości spiętrzenia na manometrze różnicowym zwężki.

2. Obliczenie ciśnienia różnicowego:

$$\Delta p = \frac{9,8066}{1000} (\rho_m - \rho_p) h \quad (\text{N/m}^2), \quad (3)$$

gdzie: h - spiętrzenie na manometrze zwężki (mm),

$\rho_m = f(t_m)$ - gęstość cieczy manometrycznej,

$\rho_p = f(t_m)$ - gęstość płynu pośredniego,

t_m - temperatura cieczy manometrycznej.

3. Obliczenie objętości właściwej płynu:

a) dla powietrza

$$v = \frac{8314,7 \text{ K T}}{28,96 p} \quad (\text{m}^3/\text{kg}), \quad (4)$$

gdzie: K - współczynnik ściśliwości,

b) dla powietrza wilgotnego

$$v = \frac{K p_o T}{\rho_o (p - \varphi p_p) T_o + \varphi K T \rho_n p_o} \quad (\text{m}^3/\text{kg}), \quad (5)$$

gdzie: φ - wilgotność względna,
 ρ_o - gęstość powietrza suchego o parametrach T_o, p_o ,
 $\rho_n = f(T)$ - gęstość nasyconej pary wodnej w temperaturze T ,
 $p_p = f(T)$ - ciśnienie nasyconej pary wodnej w temperaturze T ;

c) dla mieszaniny gazów:

$$v = \frac{p_o T}{p T_o \sum r_i \rho_{oi}} \quad (\text{m}^3/\text{kg}), \quad (6)$$

gdzie: r_i - udział objętościowy i -tego składnika mieszaniny,

ρ_{oi} - gęstość i -tego składnika mieszaniny w temperaturze T_o i ciśnieniu p_o ;

d) dla pary wodnej:

Do obliczenia objętości właściwej pary wodnej w obszarze pary przegrzanej wykorzystano zależności podane przez Schnockela [4] w formie $v = f(p, t)$;

e) dla wody:

Przyjęto, że w zakresie parametrów ustalonych w założeniach wstępnych programu, objętość właściwa wody jest zależna wyłącznie od temperatury i określono tę zależność przez zastosowanie aproksymacji wielomianem Czebyszewa.

4. Obliczenie lepkości dynamicznej płynu:

a) dla gazów:

$$\eta = \eta_o \frac{1 + \frac{C}{273} \sqrt{\frac{T}{273}}}{1 + \frac{C}{T}} \quad (\text{kg/m}\cdot\text{s}), \quad (7)$$

gdzie: η_o - dynamiczny współczynnik lepkości w warunkach normalnych (273 K, 1 bar),

C - stała Sutherlanda;

b) dla mieszaniny gazów:

$$\eta = \frac{\sum r_i \eta_i \sqrt{\mu_i T_{ki}}}{\sum r_i \sqrt{\mu_i T_{ki}}} \quad (\text{kg/m}\cdot\text{s}), \quad (8)$$

gdzie: η_i - dynamiczny współczynnik lepkości i-tego składnika mieszaniny (patrz równ. 8),

μ_i - masa cząsteczkowa i-tego składnika mieszaniny,

T_{ki} - temperatura krytyczna i-tego składnika mieszaniny;

c) dla pary wodnej i wody zastosowano aproksymację wielomianem Czebyszewa i uzyskano zależności typu $\eta = f(t)$.

5. Obliczanie wykładnika adiabaty dla gazów:

Dla powietrza suchego i wilgotnego przyjęto $k = 1,4$.

Dla pary wodnej przyjęto $k = 1,33$.

Dla mieszaniny gazów przemysłowych:

$$k = \frac{\sum c_{pi} r_i}{\sum c_{vi} r_i}, \quad (9)$$

gdzie: c_{pi} , c_{vi} - ciepła właściwe i-tego składnika mieszaniny przy $p = \text{const}$ i $v = \text{const}$.

6. Obliczenie modułu zwężki

$$m = \left(\frac{d K_{tz}}{D K_{tR}} \right)^2, \quad (10)$$

gdzie: d , D - średnica zwężki i rurociągu,

$K_{tz} = f(t)$, $K_{tR} = f(t)$ - współczynniki rozszerzalności cieplnej materiału zwężki i rurociągu.

7. Obliczenie liczby ekspansji

$$\varepsilon = 1 - (0,3707 + 0,3184 m^2) \left[1 - \left(1 - \frac{\Delta p}{p} \right)^{1/k} \right]^{0,935}. \quad (11)$$

8. Obliczenie zredukowanej liczby Reynoldsa

$$\frac{Re}{\alpha} = \frac{1,417 \varepsilon m D_t}{\eta 10^6} \sqrt{\frac{\Delta p}{p}}, \quad (12)$$

gdzie: $D_t = D K_{tR}$.

9. Obliczenie liczby przepływu α .

Obliczeniowa liczba przepływu oraz współczynniki poprawkowe lepkości płynu, chropowatości rurociągu (ch) i nieostrości krawędzi wlotowej kryzy (r_k) są obliczane na podstawie wzorów uzyskanych przez aproksymację wielomianem Czebyszewa. Określono następujące zależności: $\alpha_0 = f(m)$, $K_1 = f(Re/\alpha, m)$, $K_3 = f(r_k, d)$, $K_2' = f(m, D, ch)$

$$K_2 = (K_2' - 1) \left(\frac{\lg(Re \alpha_0 / \alpha)}{6} \right)^2 + 1; \quad \text{dla } \frac{Re}{\alpha} \alpha_0 < 10^6; \quad (13)$$

$$K_2 = K_2'; \quad \text{dla } \frac{Re}{\alpha} \alpha_0 \geq 10^6.$$

Ostatecznie liczba przepływu

$$\alpha = \alpha_0 K_1 K_2 K_3. \quad (14)$$

10. Obliczenie masowego natężenia przepływu z równ. (1).

11. Obliczenie objętościowego natężenia przepływu:

dla pary wodnej i wody

$$\dot{V} = \dot{M} v \quad (\text{m}^3/\text{s}), \quad (15)$$

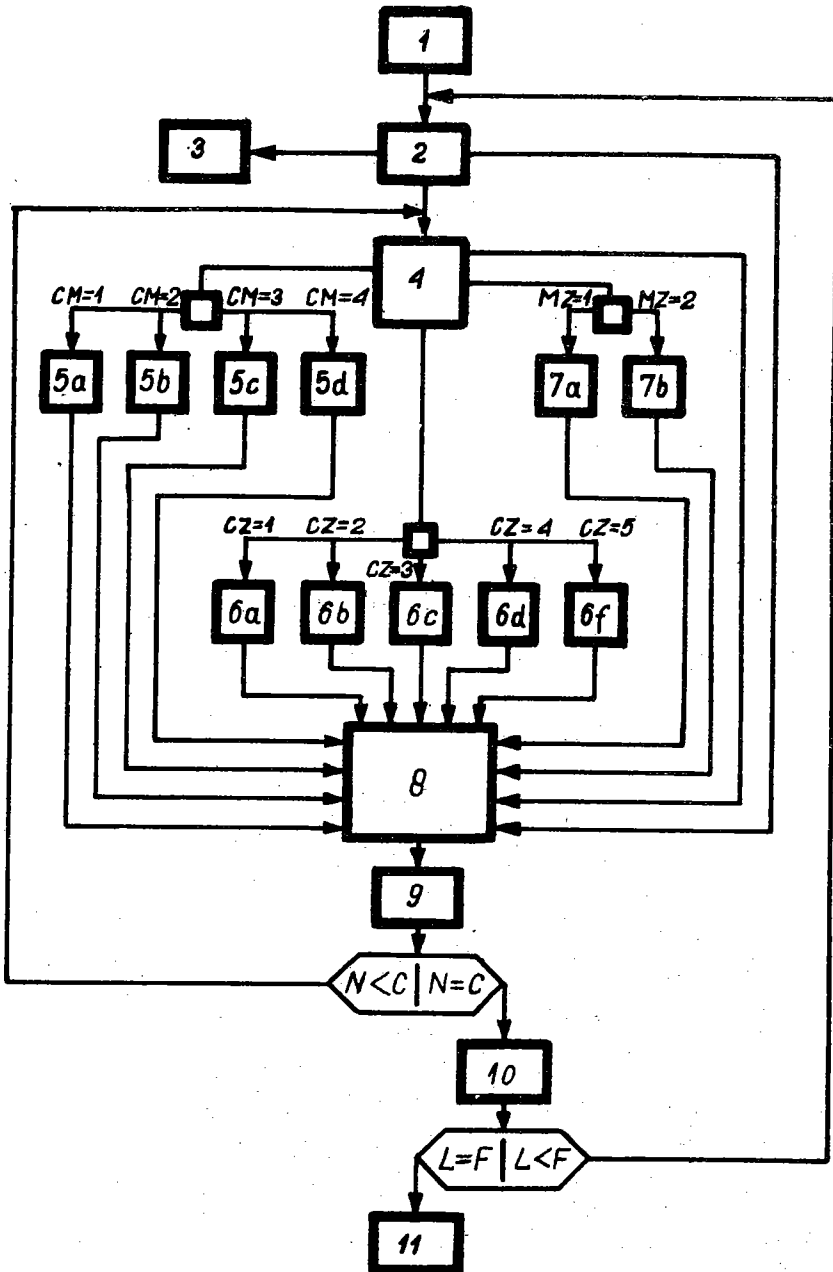
dla gazów

$$\dot{V} = \dot{M} v \frac{T_0 p}{T p_0} \quad (\text{Nm}^3/\text{s}). \quad (16)$$

12. Obliczenie liczby Reynoldsa

$$Re = \frac{0,09833 \dot{M}}{D \eta}. \quad (17)$$

W przedstawionym schemacie obliczeń zostały użyte wielkości zależne od temperatury płynu lub temperatury otoczenia, których wartości znajduje się przeważnie z tablic lub wykresów, a mianowicie: w równ. (4) ciężar właściwy cieczy manometrycznej i płynu pośredniego, w równ. (6) gęstość i ciśnienie nasyconej pary wodnej w powietrzu, w równ. (11) współczynniki rozszerzalności cieplnej materiału zwięzki i rurociągu. Wszyst-



Rys.1. Schemat blokowy programu do obliczania natężenia przepływu płynów

Opis schematu blokowego programu

1. Deklaracje zmiennych.
2. Czytanie danych.
3. Określenie numeru punktu pomiarowego i wydrukowanie:
punkt pomiarowy nr 1.
4. Obliczenie wartości p i t odpowiadających w czasie,
"wzycytanej" aktualnie do obliczeń wartości ciśnienia różnicowego.
 - 5a - 5d. Obliczenie ciśnienia różnicowego w zależności od rodzaju cieczy manometrycznej (równ. 4).
 - 6a - 6f. Obliczenie parametrów termodynamicznych płynu (v, η, k) ze wzorów wybranych na podstawie informacji o rodzaju płynu.
 - 7a - 7b. Obliczenie modułu zwężki w zależności od rodzaju materiału zwężki (równ. (11)).
8. Obliczenie chwilowej wartości natężenia przepływu (równ. (1), (16), (17)).
9. Wydrukowanie aktualnie obliczonych wartości M i \dot{V} .
10. Obliczenie średniej wartości natężenia przepływu.
11. Koniec obliczeń.

Oznaczenia literowe:

CM - rodzaj cieczy manometrycznej,

CZ - rodzaj płynu,

MZ - rodzaj materiału zwężki,

N - numer aktualnie obliczonego pomiaru,

C - liczba pomiarów ciśnienia różnicowego,

L - numer aktualnie obliczonego punktu pomiarowego,

F - liczba przyjętych do obliczeń punktów pomiarowych.

kie wymienione zależności przedstawiono w postaci wielomianów, przy czym stopień wielomianu był określony założoną dokładnością podaną w normie (1).

Uruchomienie obliczenia następuje przez dostarczenie następujących danych:

1) liczby pomiarów parametrów płynu i ciśnienia różnicowego,

2) tablice wartości parametrów płynu i tablica wartości ciśnienia różnicowego,

3) parametry otoczenia,

4) dane zwężki (średnica, promień zaokrąglenia krawędzi wlotowej),

5) dane rurociągu (średnica, chropowatości),

6) zakodowane w formie cyfr dane o rodzaju cieczy manometrycznej, rodzaju płynu i rodzaju materiału zwężki.

Konstrukcja programu przewiduje możliwość obliczenia z jednej taśmy danych kilku punktów pomiarowych. Wymagane jest podanie liczby punktów pomiarowych jako pierwszej danej programu.

Wyniki obliczeń otrzymujemy w formie perforowanej taśmy, która pozwala uzyskać na dalekopisie wydruk w formie podanej poniżej przykładowo:

punkt pomiarowy nr 1

 pomiar 1

 wo = 0.702330

 wm = 0.576134

 pomiar 2

 wo = 0.697771

 wm = 0.572394

 pomiar 63

 wo = 0.706240

 wm = 0.579341

średnie natężenie przepływu

 wos = 0.658127

 wms = 0.539873

punkt pomiarowy nr 2

 pomiar 1

Symbole występujące w druku wyników oznaczają odpowiednio:

wm - masowe natężenie przepływu (kg/s),

wo - objętościowe natężenie przepływu (m^3/s),

wms - średnie masowe natężenie przepływu (kg/s),

wos - średnie objętościowe natężenie przepływu (m^3/s).

Schemat blokowy programu do obliczania natężeń przepływu płynów przedstawiono na rys.1.

3. Opis programu do obliczenia bilansu cieplnego kotła parowego

Program opracowano przy następujących założeniach:

a) bilans cieplny kotła składa się z następujących pozycji: ciepło doprowadzane, ciepło odprowadzane w parze, strata wylotowa, strata przesyłu, strata żużla, strata niezupełnego spalania, strata w lotnym koksiku, reszta strat,

b) natężenie przepływu wody zasilającej i pary przegrzanej obliczone jest jako średnie z chwilowych wartości natężenia przepływu,

c) obliczenie chwilowej wartości natężenia przepływu dokonuje się na podstawie pomiarów normalną kryzą ISA z przytarczowym pomiarem ciśnienia różnicowego,

d) entalpia wody zasilającej i pary przegrzanej obliczona jest jako średnia z chwilowych wartości entalpii,

e) strata wylotowa obliczona jest na podstawie średnich arytmetycznych z pomiarów; składu spalin, temperatury spalin i temperatury otoczenia,

f) liczby pomiarów składu spalin, temperatury spalin, temperatury otoczenia i temperatury wody za podgrzewaczem są dowolne,

g) liczba pomiarów ciśnienia różnicowego na zwężce parowej jest wielokrotnością liczby pomiarów parametrów pary.

h) liczba pomiarów ciśnienia różnicowego na zwężce wody zasilającej jest wielokrotnością liczby pomiarów parametrów wody,

i) ograniczenia w stosunku do kryz pomiarowych podano w opisie programu do obliczenia natężenia przepływu,

j) dane do programu mogą zawierać wyniki pomiarów natężenia przepływu tylko pary przegrzanej lub tylko wody zasilającej lub obu tych wielkości.

Program można stosować wyłącznie do obliczeń bilansów cieplnych niedużych kotłów, stosowanych w energetyce przemysłowej i spełniających następujące wymagania:

- 1) kocioł produkuje parę przegrzaną,
- 2) kocioł jest zasilany paliwem stałym,
- 3) kocioł nie jest wyposażony we wtórny przegrzewacz pary,
- 4) kocioł nie jest wyposażony we wstępny podgrzewacz paliwa i powietrza podmuchowego,
- 5) w czasie trwania pomiarów nie jest przeprowadzone odmulanie kotła.

Podstawowym materiałem źródłowym przy opracowaniu programu była norma PN-63/M-34128 pt. "Kotły parowe". Ponieważ norma określa przepisy odbioru dużych kotłów stosowanych w energetyce zawodowej, zakres obliczeń przedstawiony w normie zmniejszono, dostosowując go do założeń wstępnych programu. Należy jednak podkreślić, że istnieje możliwość, po wprowadzeniu stosunkowo niewielkich zmian, zastosowania omawianego programu do obliczania bilansów cieplnych dużych kotłów energetycznych.

Program oblicza bilans cieplny kotła i jego charakterystyczne dane eksploatacyjne według następującego schematu:

1. Obliczenie średniego składu spalin oraz średnich temperatur spalin, otoczenia i wody za podgrzewaczem.
2. Obliczenie natężenia przepływu pary przegrzanej według schematu przedstawionego w punkcie 2 niniejszego artykułu.
3. Obliczenie średniej z chwilowych wartości entalpii pary według wzorów podanych przez Schnackela [4].
4. Obliczenie średniego ciśnienia i średniej temperatury pary.
5. Obliczenie natężenia przepływu wody zasilającej według schematu przedstawionego w punkcie 2 niniejszego artykułu.

6. Obliczenie średniej z chwilowych wartości entalpii wody obliczonych ze wzoru uzyskanego przez aproksymację wielomianu Czebyszewa.

7. Obliczenie średniego ciśnienia i średniej temperatury wody.

8. Obliczenie straty wylotowej:

$$\dot{S}_w = (V_{ss} C_{ps} + V_w C_{pw})(t_s - t_o)\dot{B} \quad (\text{kW}), \quad (18)$$

gdzie: \dot{B} - masa zużytego przez kocioł paliwa (kg/s),

t_s - temperatura spalin ($^{\circ}\text{C}$),

t_o - temperatura otoczenia ($^{\circ}\text{C}$),

C_{ps} - średnie ciepło właściwe spalin suchych przy stałym ciśnieniu w zakresie $t_s \div t_o$ przeliczone na warunki normalne ($\text{kJ}/\text{Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$),

C_{pw} - średnie ciepło właściwe pary wodnej przy stałym ciśnieniu w zakresie $t_s \div t_o$ przeliczone na warunki normalne ($\text{kJ}/\text{Nm}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$),

V_w - masa pary wodnej powstałej przy spaleniu 1 kg paliwa przeliczona na warunki normalne (Nm^3/kg),

$$V_w = \left(\frac{H^r}{2} + \frac{W_c^r}{18} \right) 0,224 \quad (\text{Nm}^3/\text{kg}), \quad (19)$$

H^r - zawartość wodoru w paliwie roboczym (%),

W_c^r - wilgoć całkowita paliwa roboczego (%),

V_{ss} - objętość spalin suchych (Nm^3/kg),

$$V_{ss} = \frac{(C^r - C_n) 22,26}{12,01[(\text{CO}_2) + (\text{CO})]}, \quad (20)$$

C^r - zawartość węgla w paliwie w stanie roboczym (%),

$(\text{CO}_2), (\text{CO})$ - zawartość dwutlenku węgla i tlenku węgla w spalinach (%),

C_n - zawartość w paliwie węgla nie spalonego wskutek niecałkowitego spalania (%),

$$C_n = a A^R \frac{C_{sr}}{1 - C_{sr}}, \quad (21)$$

a - współczynnik kontrakcji popiołu,
 A^R - zawartość popiołu w paliwie w stanie roboczym (%),
 C_{sr} - średnia zawartość węgla w odpadach paleniskowych.

9. Obliczanie straty niezupełnego spalania

$$S_n = V_{ss} \cdot \dot{B} \cdot (CO) \cdot 126,4 \quad (\text{kW}). \quad (22)$$

10. Obliczanie straty w żużlu

$$S_z = C_z \cdot \dot{Z} \cdot 338,6 \quad (\text{kW}); \quad (23)$$

gdzie: C_z - procentowa zawartość węgla w żużlu,
 \dot{Z} - masa żużla (kg/s).

11. Obliczanie straty przesypu

$$S_p = C_p \cdot \dot{P} \cdot 338,6 \quad (\text{kW}), \quad (24)$$

gdzie: C_p - procentowa zawartość węgla w przesypie,
 \dot{P} - masa przesypu (kg/s).

12. Obliczanie straty popiołu w odpylaczach

$$S_L = C_L \cdot \dot{L} \cdot 338,6 \quad (\text{kW}). \quad (25)$$

gdzie: C_L - procentowa zawartość węgla w lotnym popiele uchwyconym w odpylaczach,

\dot{L} - masa popiołu lotnego uchwyconego w odpylaczach (kg/s).

13. Obliczenie wydajności cieplnej kotła

$$Q_D = \dot{D} (i_p - i_w) \quad (\text{kW}), \quad (26)$$

gdzie: \dot{D} - natężenie przepływu pary przegrzanej (kg/s),

i_p - entalpia pary przegrzanej (kJ/kg),

i_w - entalpia wody zasilającej (kJ/kg).

14. Obliczenie sprawności kotła

$$\eta = \frac{100(i_p - i_w)\dot{D}}{\dot{B} Q_w^r} (\%), \quad (27)$$

gdzie Q_w^r - wartość opałowa paliwa (kJ/kg).

15. Obliczenie wielkości charakterystycznych kotła:

- a) wielokrotność odparowania,
- b) obciążenie powierzchni ogrzewalnej,
- c) obciążenie cieplne powierzchni ogrzewalnej,
- d) obciążenie masowe powierzchni rusztu,
- e) obciążenie cieplne powierzchni rusztu,
- f) przyrost temperatury wody w podgrzewaczu,
- g) współczynnik nadmiaru powietrza,
- h) sprawność paleniska.

Zgodnie z założeniami wstępnymi program dokonuje obliczeń według przedstawionego schematu dla trzech różnych wariantów danych pomiarowych:

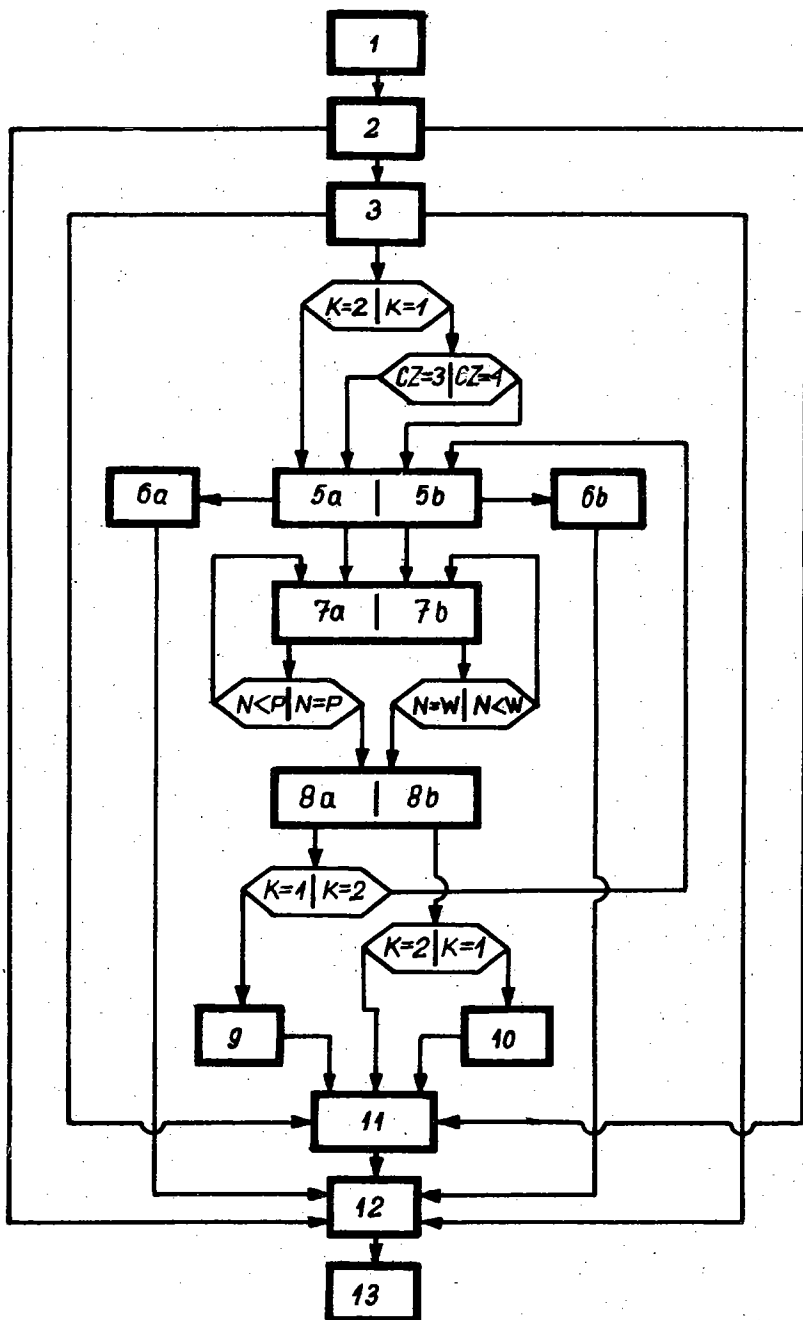
- wykonano pomiary natężenia przepływu pary przegrzanej i wody zasilającej,
- wykonano pomiary natężenia przepływu tylko pary przegrzanej,
- wykonano pomiary natężenia przepływu tylko wody zasilającej.

W pierwszym wariacie podajemy w danych liczbę punktów pomiarowych natężenia przepływu $K = 2$.

Program po obliczeniu natężenia przepływu pary przegrzanej (CZ = 3) "powraca" do początku bloku obliczającego natężenia przepływu i "powtarza" obliczenia dla wody zasilającej (CZ = 4).

W drugim wariacie liczba punktów pomiarowych wynosi $K = 1$. Program po obliczeniu natężenia przepływu pary przegrzanej "przechodzi" do obliczeń parametrów wody zasilającej z pominięciem natężenia przepływu. W wynikach końcowych przewidziany jest wydruk "brak pomiaru".

W trzecim wariacie liczba punktów pomiarowych $K = 1$. Program oblicza natężenia przepływu wody zasilającej, a następnie parametry pary przegrzanej podstawiając na zmienną określającą natężenie przepływu pary wartość obliczoną dla wody zasilającej. Schemat blokowy programu przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Schemat blokowy programu do obliczania bilansu cieplnego kotłów parowych

Opis schematu blokowego programu
do obliczeń bilansu cieplnego kotła

1. Deklaracje zmiennych,
2. Czytanie danych,
3. Obliczanie średnich wartości: składu spalin, temperatury otoczenia, temperatury spalin, temperatury wody za podgrzewaczem,
4. Deklaracje zmiennych lokalnych do obliczeń natężenia przepływu,
5. Wczytywanie danych do obliczeń natężenia przepływu,
a - pary, b - wody,
6. Obliczanie średnich wartości temperatury i ciśnienia,
a - pary, b - wody,
7. Obliczanie chwilowych wartości natężenia przepływu i entalpii a - pary, b - wody.
8. Obliczanie średnich wartości natężenia przepływu i entalpii a - pary, b - wody.
9. Obliczanie średnich wartości: temperatury, ciśnienia i entalpii wody zasilającej.
10. Obliczanie średnich wartości: temperatury, ciśnienia i entalpii pary przegrzanej,
11. Obliczanie bilansu cieplnego kotła.
12. Obliczanie wielkości charakterystycznych kotła.
13. Drukowanie wyników.

Oznaczenia literowe:

- K - liczba punktów pomiaru natężenia przepływu,
P - liczba pomiarów ciśnienia różnicowego na zwężce parowej,
W - liczba pomiarów ciśnienia różnicowego na zwężce wodnej,
N - numer aktualnie obliczonego pomiaru.

Wydruk wyników obliczeń opracowano w dwóch wersjach.

W wersji pierwszej drukuje się wyłącznie końcowe wyniki obliczeń w formie trzech tablic z podaniem pełnego opisu każdej pozycji i podaniem jednostek:

- zestawienie wyników pomiarów i obliczeń,
- bilans cieplny kotła,
- zestawienie wielkości charakterystycznych kotła.

Wersja druga, oprócz analogicznych tablic wyników końcowych, drukuje chwilowe wartości parametrów pary i wody oraz wartości wszystkich wielkości potrzebnych do obliczenia straty wylotowej.

Przeprowadzenie obliczeń bilansu cieplnego kotła przy użyciu omawianego programu składa się z następujących etapów:

- przygotowanie danych do obliczeń w formie perforowanej taśmy,
- obliczenia przy użyciu maszyny cyfrowej,
- uzyskanie wydruku wyników obliczeń za pomocą dalekopisu (w przypadku, gdy maszyna nie jest wyposażona w drukarkę wierszową).

Przygotowanie danych do obliczeń praktycznie sprowadza się do przepisania na perforatorze "OPTIMY" protokołów pomiarowych. Pracochłonność przygotowania danych pomiarowych jest zależna od liczby wykonanych pomiarów i wynosi średnio 2 godz.

Czas pracy maszyny cyfrowej "ODRA 1204" od momentu wprowadzenia programu do momentu otrzymania wyników wynosi około 4 min. W przypadku, gdy maszyna nie jest wyposażona w drukarkę wierszową, całkowity czas potrzebny do uzyskania druku wyników obliczeń przedłuża się o czas pracy dalekopisu, a więc około 10 min.

Pracochłonność obliczeń bilansu cieplnego kotła metodami tradycyjnymi wynosi 60 - 80 godz. Zastosowanie maszyny cyfrowej do obliczeń powoduje więc oprócz zwiększenia dokładności obliczeń także znaczne zmniejszenie czasu pracy wysoko wykwalifikowanych inżynierów.

Przykładowy wydruk wyników obliczeń bilansu cieplnego kotła
według zapisu wykonywanego przez maszynę

zestawienie wyników pomiarów i obliczeń

zuzycie węgla	0.208333 kg/s
wartosc opalowa	23.583902 mj/kg
przesyp	0.008888 kg/s
zawartosc czesci palnych w przesypie	72.000000 o/o
zuzel	0.053361 kg/s
zawartosc czesci palnych w zuzlu	52.200000 o/o
lotny koksik	0.002500 kg/s
zawartosc czesci palnych w lotnym koksiku	33.500000 o/o
natezenie przeplywu wody zasilajacej	1.202770 kg/s
temperatura wody zasil. przed podgrzewaczem	105.000000 deg c
cisnienie wody zasil. przed podgrzewaczem	15.519420 bar
temperatura wody zasil. za podgrzewaczem	170.000000 deg c
entalpia wody zasilajacej	442.292761 kj/kg
natezenie przeplywu pary przegrzanej	1.087726 kg/s
temperatura pary przegrzanej	268.000000 deg c
cisnienie pary przegrzanej	12.184021 bar
entalpia pary przegrzanej	2841.737425 kj/kg
temperatura spalin za kotlem	233.000000 deg c
analiza spalin na kotlem	
dwutlenek węgla	8.850000 o/o
tlen	11.450000 o/o
tlenek węgla	0.080000 o/o
azot	79.620000 o/o

bilans cieplny kotła

	%	kJ/kg
ilość ciepła doprowadzona w paliwie	100.000	4917.532671
ilość ciepła odprowadzona w parze	56.001	2753.875480
strata wylotowa	15.830	778.440090
strata niezupełnego spalania	0.515	25.329442
strata w zuzłu	19.162	942.298653
strata w przesypie	4.403	216.507569
strata w lotnym koksiku	0.576	28.332075
reszta strat	4.028	172.747368

zestawienie wielkości charakterystycznych kotła

zuzycie węgla	0.208333 kg/s
wydajność kotła	1.087726 kg/s
wydajność cieplna kotła	2753.874480 kJ/s
wielokrotność odparowania	5.218000 kg/kg
obciążenie powierzchni ogrzewalnej	0.009458 kg/m ² /s
obciążenie cieplne powierzchni ogrzewalnej	28.130946 kJ/m ² /s
obciążenie masowe powierzchni rusztu	0.034064 kg/m ² /s
obciążenie cieplne powierzchni rusztu	803.517863 kJ/m ² /s
przyrost temperatury wody w podgrzewaczu	65.000000 deg c
współczynnik nadmiaru powietrza	2.170000
sprawność paleniska	75.859000 o/o
sprawność kotła	56.001320 o/o

Bibliografia

1. PN-65/M-53950. Pomiar natężenia przepływu płynów za pomocą zwęzek, Wydawnictwa Normalizacyjne. Warszawa 1966.
2. Tęplotoj razcziot kotielnych agregatow. GEW. Moskwa - Leningrad 1957.
3. Margułowa T.H.: Razcziot i projektirowanie parogeneratorow atomnych elektrostancji. GEJ. Moskwa - Leningrad 1961.

4. Schnackel N.C.: Formulations for the thermodynamic properties of steam and water. Trans. ASME 1957, T.80, nr 4.
5. Orłowski P.: Kotły parowe. WNT. Warszawa 1966.
6. PN-63/M-34128. Kotły parowe; wymagania i badania odbiorcze. Wydawnictwa Normalizacyjne. Warszawa 1967.

Расчет расхода жидкостей и тепловых балансов паровых котлов
с применением цифровой математической машины

К р а т к о е с о д е р ж а н и е

Представлена методика расчета расхода жидкостей с применением цифровой математической машины на основании измерений при помощи измерительного фланца ИСА. Разработанная программа подсчитывает расход сухого и влажного воздуха, водяного пара, воды и любой смеси промышленных газов.

Во второй части статьи представлено программу расчета теплового баланса промышленного парового котла, для которого была применена методика расчета расхода.

The Calculation of the Flow Rate and Thermal Balances
of Steam Boilers with the Aid of Digital Computer

S u m m a r y

The article presented calculation method of the fluid flow rate with the use of the digital computer on the base of the gauge orifice ISA.

The worked out routine calculates the flow rate of the dry and humid air, steam, water and any industry gas mixture.

In second part of the article was discussed the routine for calculation of the thermal balance of an industrial steam boiler for which was applied the worked out method of the flow rate calculation.

Rękopis dostarczono w lipcu 1970 r.