

BIULETYN INFORMACYJNY INSTYTUTU TECHNIKI CIEPLNEJ POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

WARSZAWA

TEL. 215021 w. 32 i 48

NOWOWIEJSKA 25

Nr 10/K.S.i G.E.1

sierpień 1967 r.

Mgr inż. Józef Portacha
Katedra Siłowni i Gospodarki Energetycznej

MODEL MATEMATYCZNY UKŁADU CIEPLNEGO ELEKTROCIEPŁOWNI PRZEMYSŁOWEJ

1. Wstęp

Jedną z podstawowych trudności przy optymalizacji poszczególnych zmiennych układu cieplnego elektrociepłowni jest dokładne określenie rocznego zużycia paliwa oraz produkcji energii elektrycznej z rozbięciem na strefy o jednakowej wartości energii elektrycznej. Dla układów istniejących można te wielkości określić na podstawie odpowiednich pomiarów eksploatacyjnych. Budowa modelu fizycznego, dla układu nie istniejącego, jest przeważnie ekonomicznie nieuzasadniona. Dla tych układów interesujące nas wielkości można określić rozwiązując odpowiedni model matematyczny, który dla układu cieplnego elektrociepłowni przemysłowej jest określony przez następujące czynniki:

- 1) schemat cieplny,
- 2) układ równań z bilansów cieplnych i masowych dla poszczególnych węzłów schematu cieplnego,
- 3) układ nierówności wynikających z ograniczeń technicznych urządzeń układu cieplnego oraz zespół informacji dotyczą-

cych postępowania w przypadku niespełnienia jednej lub kilku nierówności,

4) założenia dotyczące wartości parametrów.

Model matematyczny może być zbudowany po dokładnym rozpoznaniu faktycznego stanu elektrociepłowni, ustaleniu istniejących i przewidywanych odbiorów oraz ich zmienności w czasie, a następnie po wytypowaniu zmiennych, które będą podlegać optymalizacji.

2. Model matematyczny

2.1. Schemat cieplny

Różnym układom cieplnym elektrociepłowni przemysłowych odpowiadają różne schematy cieplne. Można jednak zbudować uniwersalny schemat o bardziej złożonej strukturze, który przy odpowiednich założeniach jest odwzorowaniem interesujących nas rozmaitych układów cieplnych. Układ równań w oparciu o taki schemat jest bardziej rozbudowany, za to rozwiązanie modelu matematycznego dla dużej liczby wariantów układów cieplnych można przeprowadzić o wiele szybciej.

2.2. Układ równań

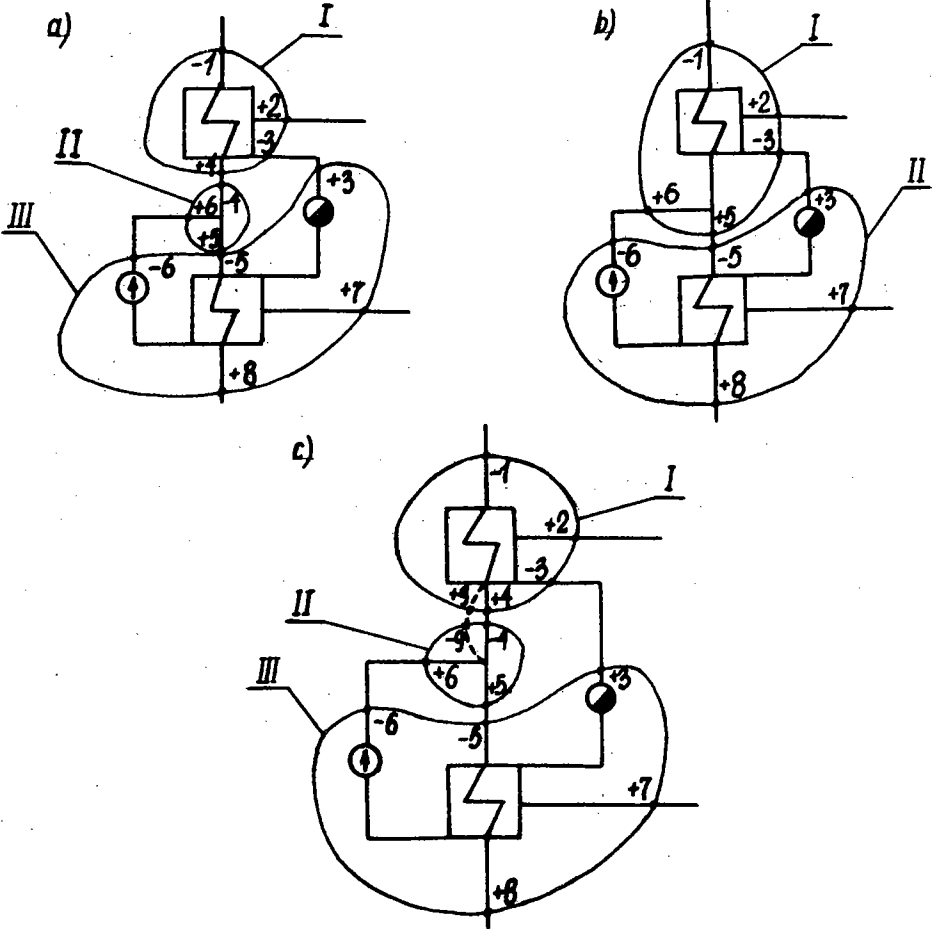
Układ równań opisujący schemat cieplny jest na ogół nieliniowy. Nieliniowość występuje najczęściej w bilansach cieplnych kiedy wydatek i entalpia są nieznanne np. w bilansie cieplnym schładzacza odmulin.

Dzięki pewnym zabiegom można tego typu nieliniowość wyeliminować i przekształcić tym samym wspomniany układ w układ równań liniowych, dla którego istnieje ogólne rozwiązanie. Można tego przekształcenia dokonać kilkoma sposobami, z których dwa są następujące:

- 1) usuwanie nieliniowości przez połączenie węzłów,
- 2) usuwanie nieliniowości przez rozdział strumienia cieplnego.

Na rys.1a i 1b pokazane są te same fragmenty schematu cieplnego z różnie poprowadzonymi osłonami bilansowymi. Na rys.1a w punkcie "4" występuje nieliniowość. Układ równań dla węzłów na rys.1b jest natomiast liniowy.

W ten sposób można wszystkie niewiadome, poza i_4 i D_4 , określić rozwiązując układ sześciu równań liniowych dla schematu jak na rys.1b.



Rys.1. Fragment schematu cieplnego

Po rozwiązaniu tego układu, D_4 i i_4 określone są z prostego układu równań nieliniowych dla węzła II.

Drugi sposób zilustrowany jest na rysunku 1c. Strumień cieplny w punkcie 4 został rozdzielony na dwie części. Jedna część, o założonym wydatku masowym a nieznanym entalpii, przepływa przez punkt "9", druga część o założonej entalpii a nieznanym wydatku przepływa przez punkt "4".

Otrzymany w ten sposób schemat opisany jest przez układ równań liniowych. Po rozwiązaniu takiego układu rzeczywistego wydatek i entalpię w punkcie "4" należy określić z następującego układu równań:

$$i_4^x \bar{D}_4 + \bar{i}_9 D_9^x = i_4 D_4,$$

$$\bar{D}_4 + D_9^x = D_4,$$

i_4^x, D_9^x - wielkości założone, dowolne, różne od zera, np. jednostkowe,

\bar{i}_9, \bar{D}_4 - wielkości obliczone z rozwiązania układu równań liniowych,

i_4, D_4 - wielkości rzeczywiste.

Wyżej omówione metody pozwalają w sposób dokładny określić wartości niewiadomych w punktach nieliniowości. W niektórych przypadkach wygodniej jest skorzystać z metod iteracyjnych rozwiązywania układu równań nieliniowych przy pomocy dokładnych algorytmów rozwiązywania układu równań liniowych. Te ostatnie metody, ze względu na dość powolny proces iteracyjny, wymagają założenia dobrych wartości początkowych procesu iteracyjnego.

Stosując jeden z wymienionych sposobów usuwania nieliniowości można uzyskać układ równań następującej postaci

$$\bar{a}_i \bar{x} = 0, \quad (1)$$

gdzie $i = 1, 2, \dots, m$

$$\bar{a}_i, \bar{x} \in \mathbb{R}^n,$$

m - liczba równań,

n - liczba niewiadomych (wymiar przestrzeni \mathbb{R}),

\bar{a}_i - wektor współczynników w i -tym bilansie,

\bar{x} - wektor niewiadomych,

i - numer równania.

Ze względu na to, że nie ma efektywnych metod ogólnych eliminacji równań liniowo zależnych z układu (1), należy przestrzegać następujących zasad przy układzie równań, aby układ (1) był liniowo niezależny:

- dla węzłów, w których entalpia we wszystkich punktach jest jednakowa, należy pominąć bilans cieplny,
- dla węzłów, w których występują podgrzewacze powierzchniowe należy, uwzględnić dodatkowe bilanse masy.

2.3. Układ nierówności

Ze względów technicznych bądź ekonomicznych, dla różnych urządzeń siłowni nie można przekroczyć pewnych dopuszczalnych wielkości. Np. moc generatora nie może przekraczać 2,75 MW, maksymalny przepływ pary przez turbinę wynosi 35 t/h, minimalny przepływ pary do kondensatora musi być większy od 1,2 t/h itd. Można te wymagania zapisać w postaci następującego równania booleowskiego

$$(N_g < 2,75 \wedge D_r < 35 \wedge D_k > 1,2) = \text{true}, \quad (2)$$

czyli muszą być spełnione nierówności

$$N_g < 2,75 \quad \text{i} \quad D_r < 35 \quad \text{i} \quad D_k > 1,2.$$

Trudno często ustalić założenia dla układu (1), żeby były spełnione wszystkie nierówności, czyli równanie (2). Dlatego należy przewidzieć także postępowanie w przypadku niespełnienia którejś z tych nierówności.

I tak np. jeżeli wartość N_g z rozwiązania układu (1) nie spełnia nierówności $N_g < N_g^{\max}$ należy N_g w układzie (1) potraktować jako parametr o wartości $N_g = N_g^{\max}$ i uruchomić np. stację redukcyjną, czyli D_r potraktować jako niewiadomą ($D_r \neq 0$).

2.4. Parametry

Wszystkie parametry, dla których można określić jedno nietrywialne rozwiązanie układu (1) dzielą się na trzy grupy. Pierwszą grupę stanowią te, których wartości we wszystkich rozpatrywanych układach i obliczeniach cieplnych będą jednakowe. Do tej grupy należą np. parametry pary na dolocie do turbiny, wody na zasilaniu kotła, pary lub wody niektórych odbiorów itp. W ogólnym przypadku liczba równań układu (1) jest mniejsza od liczby niewiadomych. Dlatego liczba niewiadomych

wynikająca z różnicy $n-m$ musi być potraktowana jako parametry. Część z nich stanowią obciążenia i wybór ich nie nastęrcza trudności. Druga część wynika ze struktury schematu cieplnego rozpatrywanego układu w stosunku do schematu uniwersalnego. Parametry wynikające ze struktury schematu i obciążeń stanowią drugą grupę. Do trzeciej zaliczono pozostałe parametry.

3. Rozwiązanie modelu matematycznego

Po określeniu wartości parametrów i ich podstawieniu do układu (1) oraz po przeniesieniu wyrazów wolnych na prawą stronę otrzymamy kramerowski układ równań liniowych następującej postaci

$$\bar{c}_i \bar{x} = b_i, \quad (3)$$

gdzie $i = 1, 2, \dots, m$,

$$\bar{c}_i, \bar{x} \in R^m,$$

b_i - wyraz wolny w i -tym równaniu.

Spośród wielu dokładnych metod numerycznych rozwiązywania układu równań liniowych najbardziej rozpowszechniona metoda eliminacji Gaussa.

Ze względu na minimum błędu należy pamiętać o właściwym doborze zmiennych w poszczególnych krokach eliminacji. Należy mianowicie eliminować zmienne w kolejności od największego współczynnika przy niewiadomej.

Rozwiązywanie układów równań liniowych metodami iteracyjnymi w obliczeniach układów cieplnych jest prawie nie stosowane.

Rozwiązanie modelu matematycznego sprowadza się do rozwiązania układu równań (3) z uwzględnieniem nierówności, tj. równania (2).

P r z y k ł a d

Zbudować model matematyczny elektrociepłowni przemysłowej pozwalający realizować różne obciążenia w czterech następujących układach cieplnych:

I. Turbina pracuje jako upustowo-kondensacyjna z jednym upustem. Woda uzupełniająca doprowadzana jest do odgazowacza. Para dla odbiorców $p > 5$ barów dostarczana jest przez reduktor.

II. Turbina kondensacyjno-upustowa z dwoma upustami i wtryskiem wody uzupełniającej do kondensatora. Para dla odbiorców $p > 5$ barów dostarczana jest przez strumienicę.

III. Turbina pracuje jako upustowa z pogorszoną próżnią. Para dla odbiorców $p > 5$ barów dostarczana jest przez strumienicę.

IV. Turbina pracuje jako upustowo-przeciwprężna. Para dla odbiorców $p > 5$ barów dostarczana jest z upustu turbiny.

Główne ograniczenia narzucone przez urządzenie układu cieplnego są następujące:

- maksymalny wydatek kotłowni - 64 t/h,
- dopuszczalna moc generatora - 2,75 MW,
- minimalny przepływ pary do kondensatora - 1,2 t/h,
- maksymalny przełyk turbiny - 35 t/h.

Charakterystyka obciążeń cieplnych

Maksymalne zapotrzebowanie ciepła do ogrzewania w wodzie o parametrach $150/70^{\circ}\text{C}$; $Q_{17}^{\text{max}/x} = 14 \text{ Gcal/h} = 58,6 \text{ GJ/h}$.

Maksymalne zapotrzebowanie ciepła dla odbiorców o ciśnieniu 13 bar $\geq p > 5$ barów; $Q_{26}^{\text{max}} = 4 \text{ Gcal/h} = 16,75 \text{ GJ/h}$.

Maksymalne zapotrzebowanie ciepła dla technologii o ciśnieniu $p \leq 5$ barów, $Q_{36}^{\text{max}} = 10 \text{ Gcal/h}$.

Obliczenie należy przeprowadzić dla

$$Q_{26} = 2,46 \text{ Gcal/h} = 10,3 \text{ GJ/h}, \quad Q_{36} = 9,86 \text{ Gcal/h} = 41,3 \text{ GJ/h}, \\ Q_{17} = 9,68 \text{ Gcal/h} = 40 \text{ GJ/h}, \quad N_8 = 2,75 \text{ MW}.$$

Ze względu na charakterystykę wariantów układów cieplnych skonstruowano uniwersalny schemat cieplny jak na rys.2.

Schemat ten pozwala przy odpowiednich założeniach realizować każdy z czterech wariantów. Np. dla $D_9 = 0$ i $D_{18} = 0$ i $D_{34} = 0$ zrealizowany jest schemat IV układu cieplnego.

Układ równań

$$\bar{a}_1 \bar{x} = 0 \quad i = 1, 2 \dots 42,$$

gdzie

$$\bar{x} = [D_1, D_2, B_3, B_4, D_5, D_6, D_7, N_8, D_9, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{15}, D_{16}, \\ Q_{17}, D_{18}, D_{19}, D_{20}, D_{21}, D_{22}, D_{23}, D_{24}, D_{25}, Q_{26}, D_{27}, D_{28}, D_{29}, D_{30}, \\ D_{31}, D_{32}, D_{33}, D_{34}, D_{35}, Q_{36}, D_{37}, D_{38}, D_{39}, D_{40}, D_{41}, Q_{42}, D_{43}, D_{44}, \\ D_{45}, D_{46}, D_{47}, D_{48}, D_{49}, D_{50}, D_{51}, D_{52}, D_{53}, D_{54}]$$

$\bar{a}_1 = [f_1, -f_2, -f_5]$	m/I/1
$\bar{a}_2 = [+i_1, -i_2, +g_3, -g_4, -i_5]$	c/I/2
$\bar{a}_3 = [f_5, -f_6, -f_7]$	m/II/3
$\bar{a}_4 = [+f_7, -f_9, -f_{10}, -f_{11}]$	m/III/4
$\bar{a}_5 = [+i_7, -h_8, -i_9, -i_{10}, -i_{11}]$	c/III/5
$\bar{a}_6 = [+f_6, -f_{12}, -f_{13}, -f_{54}]$	m/IV/6
$\bar{a}_7 = [+f_{13}, -f_{14}]$	m/V/7
$\bar{a}_8 = [+f_{12}, -f_{15}, +f_{16}]$	m/VI/8
$\bar{a}_9 = [+i_{12}, -i_{15}, +i_{16}]$	c/VI/9
$\bar{a}_{10} = [+f_{11}, -f_{16}, -f_{18}]$	m/VII/10
$\bar{a}_{11} = [+f_{14}, +f_{18}, +f_{19}, -f_{20}, +f_{21}]$	m/VIII/11
$\bar{a}_{12} = [+i_{14}, +i_{18}, +i_{19}, -i_{22}, +i_{21}]$	c/VIII/12
$\bar{a}_{13} = [-f_{19}, -f_{22}, +f_{23}]$	m/IX/13
$\bar{a}_{14} = [+f_{15}, +f_{22}, -f_{24}, +f_{54}]$	m/X/14
$\bar{a}_{15} = [+i_{15}, +i_{22}, -i_{24}, +i_{54}]$	c/X/15
$\bar{a}_{16} = [+f_{24}, -f_{25}, -f_{27}, -f_{28}]$	m/XI/16
$\bar{a}_{17} = [+i_{24}, -i_{25}, -f_{26}, -i_{27}, -i_{28}]$	c/XI/17
$\bar{a}_{18} = [+f_{28}, -f_{29}, -f_{30}]$	m/XII/18
$\bar{a}_{19} = [+i_{28}, -i_{29}, -i_{30}]$	c/XII/19
$\bar{a}_{20} = [-f_{31}, +f_{32}]$	m/XIII/20
$\bar{a}_{21} = [+f_{20}, -f_{32}, -f_{33}]$	m/XIV/21
$\bar{a}_{22} = [+f_{33}, -f_{34}, +f_{35}, -f_{40}]$	m/XV/22
$\bar{a}_{23} = [-f_{17}, +i_{33}, -i_{34}, +i_{35}, -i_{40}]$	c/XV/23
$\bar{a}_{24} = [+f_{30}, +f_{31}, -f_{37}, -f_{38}]$	m/XVI/24

$\bar{a}_{25} = [+i_{30}, +i_{31}, -f_{36}, -i_{37}, -i_{38}]$	c/XVI/25
$\bar{a}_{26} = [+f_{29}, +f_{38}, -f_{39}]$	m/XVII/26
$\bar{a}_{27} = [-p_3, +f_4]$	c/I/27
$\bar{a}_{28} = [+f_{34}, -f_{41}]$	m/XVIII/28
$\bar{a}_{29} = [+f_{41}, -f_{43}, +f_{44}, +f_{45}]$	m/XIX/29
$\bar{a}_{30} = [+f_{41}, -f_{42}, -f_{43}, +f_{44}, +f_{45}]$	c/XIX/30
$\bar{a}_{31} = [+f_9, -f_{35}, -f_{45}]$	m/XX/31
$\bar{a}_{32} = [+f_{25}, +f_{39}, +f_{40}, +f_{43}, -f_{46}, +f_{47},$ $+f_{48}, +f_{49}]$	m/XXI/32
$\bar{a}_{33} = [+i_{25}, +i_{39}, +i_{40}, +i_{43}, -i_{46}, +i_{47}, +i_{48}, +i_{49}]$	c/XXI/33
$\bar{a}_{34} = [-f_{44}, -f_{47}, +f_{50}]$	m/XXII/34
$\bar{a}_{35} = [-f_{50}, +f_{52}]$	m/XXIII/35
$\bar{a}_{36} = [-f_{51}, +f_{53}]$	m/XXIII/36
$\bar{a}_{37} = [-i_{50}, -i_{51}, +i_{52}, +i_{53}]$	c/XXIII/37
$\bar{a}_{38} = [+f_2, -f_{48}, -f_{53}]$	m/XXIV/38
$\bar{a}_{39} = [+i_2, -i_{48}, -i_{53}]$	c/XXIV/39
$\bar{a}_{40} = [-f_1, -f_{23}, +f_{46}]$	m/XXV/40
$\bar{a}_{41} = [+f_{10}, -f_{23}, -f_{49}]$	m/XXVI/41
$\bar{a}_{42} = [-f_{34}, +f_{35}]$	m/XV/42

x) Literą "m" oznaczone są wektory bilansu masowego.
Literą "c" bilansu cieplnego, cyfry rzymskie oznaczają numer węzła, cyfry arabskie numer równania.

Wektory \bar{x}, \bar{a}_1 należą do przestrzeni 54 wymiarowej.

Składowe nie wymienione w nawiasach są równe zero.

Parametry

Pierwsza grupa parametrów.

Wartości parametrów są jednakowe we wszystkich wariantach obliczeniowych

1. $i_1 = 105,4$ kcal/kg = 440 kJ/kg
2. $i_2 = 247,3$ kcal/kg = 1034 kJ/kg
3. $g_3 = 7 \cdot 10^3$ Mcal/tpu = $29,3 \cdot 10^3$ kJ/tpu
4. $p_3 = 0,2$
5. $g_4 = 7 \cdot 10^3$ Mcal/tpu = $293 \cdot 10^3$ kJ/kg
6. $i_5 = 788$ kcal/kg = 3299 kJ/kg
7. $i_6 = 788$ kcal/kg = 3299 kJ/kg
8. $i_7 = 788$ kcal/kg = 3299 kJ/kg
9. $h_8 = 920$ kcal/kWh = 3852 kJ/kWh
10. $i_{12} = 788$ kcal/kg = 3299 kJ/kg
11. $i_{13} = 788$ kcal/kg = 3299 kJ/kg
12. $i_{14} = 788$ kcal/kg = 3299 kJ/kg
13. $f_{17} = f_1 = 1$
14. $i_{19} = 105,5$ kcal/kg = 440 kJ/kg
15. $i_{20} = 663,1$ kcal/kg = 2776 kJ/kg
16. $i_{22} = 105,5$ kcal/kg = 440 kJ/kg
17. $i_{23} = 105,5$ kcal/kg = 440 kJ/kg
18. $i_{24} = 674,1$ kcal/kg = 2822 kJ/kg
19. $i_{25} = 105,5$ kcal/kg = 440 kJ/kg
20. $i_{27} = 193,6$ kcal/kg = 810 kJ/kg
21. $i_{28} = 176,5$ kcal/kg = 739 kJ/kg
22. $i_{29} = 104,3$ kcal/kg = 436 kJ/kg
23. $i_{30} = 640,7$ kcal/kg = 2683 kJ/kg
24. $i_{31} = 663,1$ kcal/kg = 2776 kJ/kg
25. $i_{32} = 663,1$ kcal/kg = 2776 kJ/kg
26. $i_{33} = 663,1$ kcal/kg = 2776 kJ/kg
27. $i_{37} = 104,3$ kcal/kg = 436 kJ/kg
28. $i_{38} = 104,3$ kcal/kg = 436 kJ/kg
29. $i_{39} = 104,3$ kcal/kg = 436 kJ/kg

- 30. $i_{46} = 104,3$ kcal/kg = 436 kJ/kg
- 31. $i_{48} = 640,7$ kcal/kg = 2683 kJ/kg
- 32. $i_{51} = 80$ kcal/kg = 335 kJ/kg
- 33. $i_{52} = 10$ kcal/kg = 41,8 kJ/kg
- 34. $i_{53} = 104,3$ kcal/kg = 436 kJ/kg

Aby uniknąć nieliniowości układu równań schematu uniwersalnego, entalpię w punkcie "50" założono jako znaną. Pominięto natomiast równanie określające ilość odmulin. Gdyby się okazało, po rozwiązaniu układu równań, że ilość odmulin odbiega od wartości dopuszczalnych, należałoby wykonać następną iterację zakładając nową wartość i_{50} .

Układ nierówności

$$(N_8 \leq 2,75 \wedge D_9 \geq 1,2 \wedge D_7 < 35 \wedge Q_{42} \geq 0 \wedge D_{10} \geq 0) = \text{true.}$$

Zespół informacji dotyczących postępowania w przypadku niespełnienia jednej lub kilku nierówności:

jeżeli $D_9 < 1,2$ to $D_9 = 1,2$ i $D_{14} \neq 0$;

jeżeli $D_7 > 35$ to $D_7 = 35$ i $D_9 \neq 1,2$;

jeżeli $Q_{42} < 0$ to $Q_{42} = 0$ i $D_{53} \neq 0$;

jeżeli $D_{10} < 0$ to $D_{10} = 0$ i $D_{47} \neq 0$.

Podane wyżej instrukcje nie obejmują wszystkich przypadków, jakie mogą zajść przy rozwiązywaniu układu równań z uwzględnieniem nierówności.

Ustalenie tego typu instrukcji wymaga bardzo dokładnej znajomości układu cieplnego.

Druga grupa parametrów

Parametry wynikające z przyjętych obciążeń.

$$N_8 = 2,75 \text{ MW}; \quad Q_{17} = 9860 \text{ Mcal/h} = 41280 \text{ MJ/h};$$

$$Q_{26} = 2430 \text{ Mcal/h} = 10170 \text{ MJ/h};$$

$$D_{27} = 1,5 \text{ t/h}; \quad Q_{36} = 6210 \text{ Mcal/h} = 26000 \text{ MJ/h}; \quad D_{37} = 2,5 \text{ t/h.}$$

Parametry wynikające ze struktury rozpatrywanego układu cieplnego

$$D_{10} = D_{14} = D_{25} = D_{35} = D_{44} = D_{54} = 0 \text{ t/h}$$

Trzecia grupa parametrów

$$i_9 = 640 \text{ kcal/kg} = 2650 \text{ kJ/kg}, i_{11} = 723 \text{ kcal/kg} = 3027 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{10} = 1000^x) \text{ kcal/kg} = 4186,8 \text{ kJ/kg}, i_{15} = 788 \text{ kcal/kg} = 3294 \text{ kJ/kg}$$

x) można podstawić inną wartość (wartość umowna)

$$i_{16} = 723 \text{ kcal/kg} = 3027 \text{ kJ/kg} \quad i_{41} = 105 \text{ kcal/kg} = 440 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{18} = 723 \text{ kcal/kg} = 3027 \text{ kJ/kg} \quad i_{43} = 39 \text{ kcal/kg} = 1633 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{23} = 663 \text{ kcal/kg} = 2776 \text{ kJ/kg} \quad i_{44} = 14,4 \text{ kcal/kg} = 603 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{34} = 105 \text{ kcal/kg} = 440 \text{ kJ/kg} \quad i_{45} = 640 \text{ kcal/kg} = 2680 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{35} = 1000 \text{ kcal/kg} = 4186 \text{ kJ/kg} \quad i_{47} = 14,4 \text{ kcal/kg} = 603 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{37} = 105 \text{ kcal/kg} = 440 \text{ kJ/kg} \quad i_{49} = 663 \text{ kcal/kg} = 2776 \text{ kJ/kg}$$

$$i_{40} = 105 \text{ kcal/kg} = 440 \text{ kJ/kg} \quad i_{50} = 14,4 \text{ kcal/kg} = 603 \text{ kJ/kg}$$

Po podstawieniu wartości parametrów do układu (1) i po przeniesieniu wyrazów wolnych na prawą stronę, układ (1) przekształca się w następujący sposób:

$$\bar{c}_i \bar{x} = b_i \quad (3)$$

gdzie $i = 1, 2 \dots 42$,
 $\bar{c}_i, \bar{x} \in R^{42}$.

Układ (2) rozwiązano metodą eliminacji Gaussa. Dla tego typu zadań opracowany został program w ALGOLU na maszynie cyfrową GIER.

Program przewiduje następujące operacje:

- przekształcanie układu (1) na układ (3)
- rozwiązanie układu (3),
- sprawdzenie nierówności,
- modyfikację parametrów i ponowne rozwiązanie układu (3) aż będą spełnione wszystkie warunki.

Wyniki obliczeń dla rozpatrywanego obciążenia:

$D_1 = 37,2 \text{ t/h}$; $D_2 = 1,2 \text{ t/h}$; $B_3 = 4,42 \text{ t/h}$; $B_4 = 0,88 \text{ t/h}$;
 $D_5 = 36,0 \text{ t/h}$; $D_6 = 3,93 \text{ t/h}$; $D_7 = 32,7 \text{ t/h}$; $D_9 = 5,34 \text{ t/h}$;
 $D_{11} = 26,8 \text{ t/h}$; $D_{12} = 3,93 \text{ t/h}$; $D_{13} = 0$, $D_{15} = 3,93 \text{ t/h}$;
 $D_{16} = 0$; $D_{18} = 26,8 \text{ t/h}$; $D_{19} = 2,87 \text{ t/h}$; $D_{20} = 28,5 \text{ t/h}$;
 $D_{21} = 0$; $D_{22} = 0,8 \text{ t/h}$; $D_{23} = 3,65 \text{ t/h}$; $D_{28} = 1,69 \text{ t/h}$;
 $D_{29} = 1,47 \text{ t/h}$; $D_{30} = 0,23 \text{ t/h}$; $D_{31} = 10,9 \text{ t/h}$; $D_{32} = 10,9 \text{ t/h}$;
 $D_{33} = 17,7 \text{ t/h}$; $D_{34} = 0$; $D_{38} = 8,62 \text{ t/h}$; $D_{39} = 10,1 \text{ t/h}$;
 $D_{40} = 17,7 \text{ t/h}$; $D_{41} = 0$; $D_{42} = 32,0 \text{ t/h}$; $D_{43} = 5,33 \text{ t/h}$;
 $D_{45} = 5,33 \text{ t/h}$; $D_{46} = 40,9 \text{ t/h}$; $D_{47} = 4,88 \text{ t/h}$;
 $D_{48} = 0,32 \text{ t/h}$; $D_{49} = 1,07 \text{ t/h}$; $D_{50} = 4,88 \text{ t/h}$;
 $D_{51} = 0,88 \text{ t/h}$; $D_{52} = 4,88 \text{ t/h}$; $D_{53} = 0,88 \text{ t/h}$.

Opis węzłów bilansowych
dla schematu cieplnego na rys.2

I - kotły

II, IV, VII, IX,
XIII, XIV, XVIII, - rozgałęzienie
XX, XXII, XXV, XXVI

III - turbiny

V - stacja redukcyjna

VI - strumienica

VIII - schładzacz pary

X - stacja redukcyjna schładzająca

XI, XVI - odbiory pary technologicznej

XII - rozprężacz skroplin

XV - węzeł ciepłowniczy

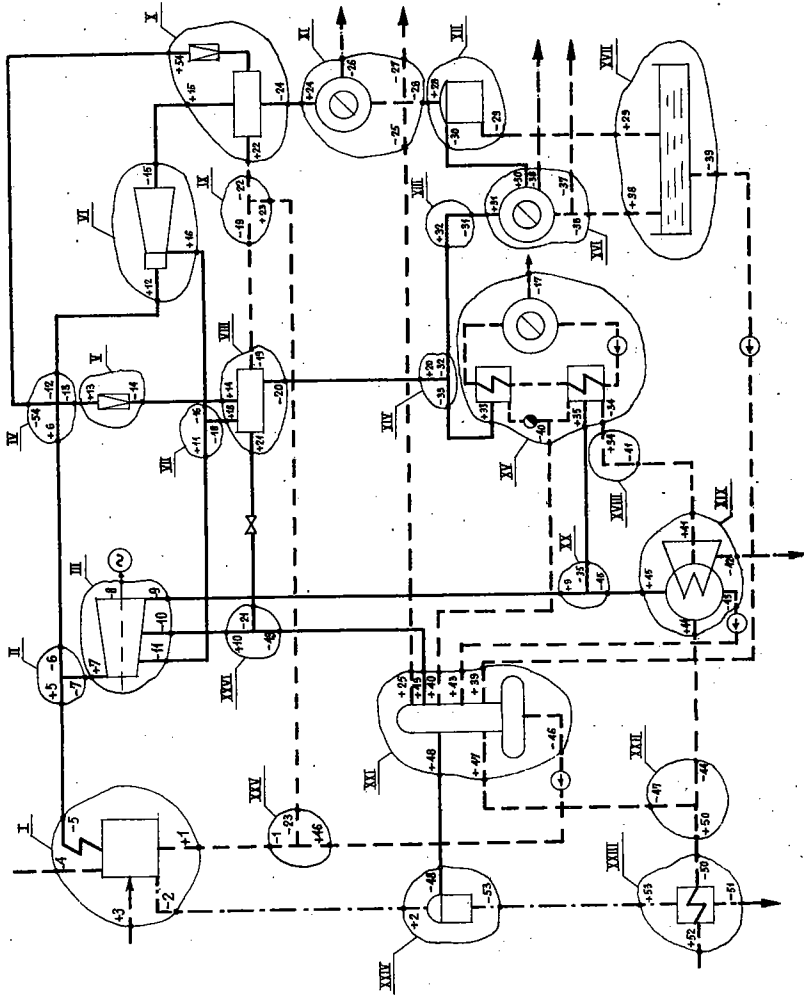
XVII - zbiornik kondensatu

XIX - skraplacz

XXI - odgazowywacz

XXIII - chłodnica odmulin

XXIV - rozprężacz odmulin



Rys.2. Uniwersalny schemat cieplny "EC-WATRA"